

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Otimização das formulações de PVC***

**Dissertação de Mestrado**

de

**Andreia Filipa Antunes Sousa**

**Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação**

realizado em

**Probos-Plásticos, S.A**



**PROBOS**

Orientador na FEUP: **Prof. Fernão Magalhães**

Orientadora na Probos: **Eng<sup>a</sup>. Teresa Laranjeira**



**Departamento de Engenharia Química**

**Julho de 2017**



## Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com o apoio e contribuição de muitas pessoas, que me acompanharam nesta etapa. A todas essas pessoas deixo aqui as minhas palavras de agradecimento!

À Probos - Plásticos, S.A. e a todos os seus colaboradores, pela oportunidade de realizar a tese em ambiente industrial, por ter disponibilizado todos os recursos necessários para a realização da mesma e por todos os conhecimentos partilhados.

À Eng.<sup>a</sup> Teresa Laranjeira, que para além de minha orientadora neste percurso, foi também uma pessoa amiga. A ela, agradeço-lhe não só todo o conhecimento técnico que me transmitiu, mas todas as palavras de orientação e amizade.

Ao meu orientador, Professor Fernão Magalhães por todo o seu apoio e orientação disponibilizados na realização deste trabalho, conselhos e sugestões na revisão do texto da dissertação.

Ao Eng.<sup>o</sup> João Pedro Cunha, pelas palavras de orientação e oportunidade de liderar este projeto.

Ao Sr. Lucas Almeida, por me ter acompanhado nos ensaios industriais, contribuindo com a sua larga experiência e profissionalismo; por todo o apoio e amizade que me prestou ao longo destes meses.

À Dr.<sup>a</sup> Nicole Silva por toda a partilha de conhecimento e ajuda relativamente aos ensaios realizados.

Aos restantes colaboradores do Departamento de Desenvolvimento que foram verdadeiros colegas de trabalho proporcionando um bom ambiente de trabalho e onde me fizeram sentir parte da equipa.

À Cires, Lda e a todos os colaboradores do laboratório pela disponibilidade e acompanhamento nos ensaios de reologia. Um agradecimento especial ao Eng.<sup>o</sup> Rogério Marques pela orientação e ajuda na análise dos resultados de reologia.

Finalmente, tenho que agradecer às pessoas sem as quais nada disto teria sido possível. Aos meus pais por me terem proporcionado fazer as minhas próprias escolhas ao longo da vida, pelo apoio incondicional, pelo carinho e pela amizade! Não há palavras para lhes demonstrar o quanto lhes sou grata e o reconhecimento de todo o esforço que fizeram para que nada me faltasse! A vocês, agradeço pelos valores que me incutiram e sob os quais tenho governado a minha vida!

Este trabalho foi financiado por *LEPABE* e pelo projeto POCI-01-0145-FEDER-006939 (Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia, UID/EQU/00511/2013) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.



## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação na Probos - Plásticos, S.A., sendo uma empresa de produção e comercialização de orlas termoplásticas. Este trabalho centra-se em dois objetivos; são eles, o aumento do débito de uma linha de extrusão de PVC e o segundo consiste na otimização da resistência ao impacto da gama de “produtos ProClassic” Liso e Impresso em PVC.

Para o aumento do débito da extrusora optou-se por inserir nas formulações uma resina de PVC de menor valor K e, conseqüentemente menor viscosidade que são um indicativo da sua maior facilidade de processamento, no que diz respeito ao fluxo do material fundido; algo que foi comprovado com os ensaios de reologia devido ao menores tempo de fusão e valor de torque de equilíbrio atingido com as formulações contendo a nova resina em estudo (de menor valor K). No entanto, não foi possível cumprir o objetivo do aumento de débito uma vez que se deparou com a impossibilidade de manter constante o caudal de alimentação dos compostos à extrusora, com as condições de operação usadas, representando por isso uma limitação na realização dos ensaios industriais.

No estudo do aumento da resistência ao impacto foram testados novos modificadores de impacto que revelaram uma melhor performance face à exposição à radiação UV.

Assim, o objetivo do aumento da resistência ao impacto das orlas foi atingido com sucesso. Na gama ProClassic Liso foi atingido um aumento de cerca de 38 % e na gama ProClassic Impresso um aumento de 50 %.

**Palavras - Chave:** PVC, modificadores de impacto, aditivos, reologia, extrusora, radiação UV

## **Abstract**

The present work was developed within the scope of the course Dissertação in Probos - Plastics, S.A., being a company of production and commercialization of thermoplastic edging.

This work has two objectives: to increase of the output of a PVC extrusion line and to optimize the impact resistance of the ProClassic PVC product range (plain colour and printed).

In order to increase the output it was decided to incorporate in the formulations, a PVC resin of lower value K and consequently, lower viscosity which indicates its greater facility of processing of the melt flow. This was confirmed by the rheological tests due to the less fusion time and lower equilibrium torque value reached with the formulations containing the new resin in study (with lower value K).

However, under the operating conditions used was not possible to meet the objective of increasing the output of the extruder, since was impossible to maintain constant the feed flow of the compounds. This represents a limitation in the execution of the industrial tests.

The goal of increasing the impact resistance of the edging was achieved.

The new impact modifiers studied showed a better performance when exposed to the UV radiation.

In the plain colour ProClassic product was achieved an increase of about 38 % and in printed ProClassic product was achieved an increase of 50 %.

**Keywords:** PVC, impact modifiers, additives, rheology, extrusion, UV radiation

## **Declaração**

Declara-se, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Andreia Filipa Antunes Sousa

# Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Apresentação do projeto.....	1
1.2. Apresentação da empresa .....	1
1.3. Contributos do Trabalho .....	2
1.4. Organização da Tese .....	2
2. Contexto e Estado de Arte.....	3
2.1. O que é o PVC? .....	3
2.1.1. Aspetos morfológicos .....	4
2.1.2. Gelificação e fusão de resinas de PVC .....	6
2.2. Aplicações.....	7
2.3. Aditivos nas formulações de PVC .....	7
2.4. Processo de Mistura.....	11
2.5. Processo de Extrusão .....	12
2.5.1. Alimentação Gravimétrica.....	12
2.5.2. Extrusora .....	13
2.5.3. Fieira.....	14
2.5.4. Calandra e Calandretes .....	15
2.5.5. Torre de Aplicação e Secagem do Primário .....	16
2.5.6. Enrolador .....	16
2.6. Processo de Impressão .....	17
3. Materiais e Métodos .....	18
3.1. Matérias-primas .....	18
3.1.1. Aumento do Débito .....	19
3.1.2. Modificadores de Impacto alternativos .....	20
3.2. Ensaio Industrial.....	21
3.3. Medição do débito da extrusora .....	22
3.4. Ensaio de Reometria de Torque.....	22
3.5. Ensaio de Impacto.....	23
3.6. Confirmação da Cor - Espectrofotómetro .....	25
3.7. Brilho .....	26
3.8. Ensaio de Determinação da Dureza.....	27
3.9. Resistência à Abrasão .....	27



3.10. Ensaio de Solidez da Cor à Luz UV .....	28
3.11. Pinking (Rosamento) a 50 °C e 70 °C.....	29
3.12. Ensaio de Rasgamento .....	29
3.13. Ensaio de Adesão pelo Método da Quadrícula (Teste do Cross).....	30
4. Resultados e Discussão .....	31
4.1. Aumento de débito da linha de extrusão .....	31
4.1.1. Ensaio de Reologia .....	31
4.1.2. Ensaio de Extrusão .....	36
4.2. Aumento da Resistência ao Impacto .....	40
5. Conclusões .....	46
5.1. Aumento do Débito da Extrusora .....	46
5.2. Aumento da Resistência ao Impacto .....	46
6. Avaliação do trabalho realizado .....	48
6.1. Objetivos Realizados .....	48
6.2. Limitações e Trabalho Futuro .....	48
6.4. Apreciação Final.....	48
7. Referências.....	49
Anexo 1 - Gama de produtos Proadec .....	50
Anexo 2 - Registo dos parâmetros monitorizados no processo de mistura .....	52
Anexo 3 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo do processo de extrusão. ....	55
Anexo 3 - Ensaio de Reologia .....	61
Anexo 4 - Cálculos Auxiliares para a determinação do Débito Total e Espessura Média ....	63
Anexo 5 - Ensaio de Impacto.....	66
Anexo 6 - Ensaio de Validação dos Produtos .....	90
□ Confirmação da Cor .....	90
□ Brilho.....	90
□ Ensaio de Dureza .....	93
□ Resistência à Abrasão.....	93
□ Teste da Solidez da Cor à Luz UV .....	94
□ Pinking a 50 °C e a 70 °C .....	95
□ Ensaio de Rasgamento .....	97
□ Teste do Cross .....	98

## Notação e Glossário

mm	Milímetro
cm	Centímetro
µm	Micrómetro
m	Metro
Å	Angstrom
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
mg	Miligrama
g	Grama
kg	Quilograma
pcr	Por 100 kg de resina
°C	Graus celcius
°	Grau
W	Watt
%	Porcentagem
A	Ampere
rpm	Rotações por minuto
Shore D	Unidade de dureza
ub	Unidade de brilho
% Rh	Humidade relativa
€	Euro

## Símbolos

±	Mais ou menos
<	Menor
>	Maior
Π	Ligação química (dupla)
Δ	Delta

## Lista de Siglas

PVC	Policloreto de vinilo
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
PP	polipropileno
PS/B	Poliestireno
PMMA	Polimetilmetacrilato
MBS	Metacrilato de metilo-butadieno-estireno
VCM	Cloreto de vinilo
MEV	Microscopia Eletrônica de Varrimento
CIRES	Companhia Industrial de Resinas Sintéticas
$T_g$	Temperatura de Transição Vítrea
UV	Radiação Ultravioleta
T	Temperatura

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento e Apresentação do projeto

O presente projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, tendo como principais objetivos: otimização da resistência ao impacto da gama de produtos "ProClassic", Liso e Impresso, em PVC e o aumento do débito (ou *output*, que se traduz na capacidade produtiva, em kg/h) numa das linhas de extrusão da empresa.

Para a sua concretização foi feito o estudo do comportamento reológico das formulações testadas para o aumento do débito. Foi estudado ainda o comportamento do material face a solicitações de impacto nas várias etapas do processo de extrusão e impressão com os diferentes modificadores de impacto em estudo.

## 1.2. Apresentação da empresa

A Probos - Plásticos, S.A. apresenta-se como um fabricante e fornecedor global de orlas termoplásticas em PVC (Policloreto de Vinilo), ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), PP (Polipropileno), PS/B (Poliestireno) e PMMA (Polimetil metacrilato), comercializadas sob a marca Proadec, para empresas da indústria de mobiliário de interiores. As orlas são um complemento indispensável para impedir que na finalização de produtos fabricados com painéis de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) ou de aglomerado revestido HPL (*High Pressure Laminates*), a madeira lasque nos cantos ou que o seu miolo fique visível. A gama de orlas Proadec compreende mais de 3000 cores lisas e imitações de madeira em diversos acabamentos de superfície, com diferentes intensidades de brilho, diferentes larguras (entre 14 e 800 mm) e espessuras (entre 0,4 e 5 mm). Na Figura 1 encontra-se um exemplo de uma orla (da gama ProClassic) aplicada a um substrato de madeira. A aplicação destas permite que os produtos tenham cantos tratados, concedendo maior conforto, estética e segurança aos seus usuários. No Anexo A podem ser consultadas outras gamas de produtos.

O Grupo Probos iniciou a sua atividade em 1977, tendo-se dedicado desde logo à extrusão de perfis e à produção de folha em calandra.

Atualmente, o grupo emprega cerca de 473 colaboradores e em 2016 realizou um volume de negócios de 66,7 milhões de euros, com vendas em mais de 65 países, sendo 95 % da produção para exportação nos 5 continentes. A Probos é o 3º maior fabricante de orlas termoplásticas no mundo, o maior da Península Ibérica e o único em Portugal.

O principal objetivo da empresa é produzir e comercializar bens e serviços, que tenham um nível de qualidade e serviço superiores ao das empresas concorrentes, procurando ser



Figura 1 - Orla Clássica de PVC.

reconhecida como uma empresa com capacidade de inovação não só de produtos, mas de tecnologia. Como pilares essenciais surgem a valorização, a formação e corretas remunerações de todos os recursos humanos envolvidos na atividade da empresa, para que contribuam de forma permanente para a melhoria dos processos de transformação a que a empresa se dedica, e sobretudo que partilhem efetivamente desses objetivos. Outra condição fundamental é a total satisfação dos seus clientes, com os quais se pretende estabelecer relações de negócio a longo prazo, para mútuo benefício. O grupo apresenta uma cultura onde procura criar valor não só para os seus parceiros de negócio mas para a sociedade em geral, promovendo o desenvolvimento económico e social e melhorando a qualidade de vida, adotando uma política da qualidade, ambiente, segurança e saúde responsável e sustentável.

A Probos implementou e mantém um Sistema de Gestão da Qualidade certificado de acordo com as normas NP EN ISO 9001:2008 e NP EN ISO 14001:2012 do Sistema Português da Qualidade.

### **1.3. Contributos do Trabalho**

Neste trabalho realizei todos os ensaios descritos na secção de Materiais e Métodos. Durante os ensaios industriais contei com a contribuição da Eng.<sup>a</sup> Teresa Laranjeira, da Dr.<sup>a</sup> Nicole Silva, do Sr. Lucas Almeida, e de alguns operadores responsáveis pelos processos de mistura, extrusão e impressão onde se realizaram estes ensaios.

Os ensaios de reologia foram realizados na CIREs, Lda, onde pude contar com a colaboração dos técnicos do laboratório para a realização dos mesmos.

Realizei a pesquisa de modificadores de impacto alternativos, tendo por isso sugerido os que se testaram.

### **1.4. Organização da Tese**

Esta dissertação está organizada em várias secções:

**Secção 1 - Introdução:** enquadramento, apresentação e descrição do projeto.

**Secção 2 - Contexto e Estado de Arte:** introdução teórica relativamente ao polímero PVC: principais características, morfologia, principais aditivos e aplicações. Descrição do processo industrial de produção de orlas.

**Secção 3 - Materiais e Métodos:** neste capítulo são apresentadas todas as matérias primas, bem como a descrição de todos os ensaios realizados.

**Secção 4 - Resultados e Discussão:** apresentação dos resultados dos ensaios realizados e respetiva discussão.

**Secção 5 - Conclusão:** são apresentadas de forma sucinta as principais conclusões deste projeto.

## 2. Contexto e Estado de Arte

### 2.1. O que é o PVC?

O PVC é um homopolímero termoplástico linear. Os polímeros são macromoléculas constituídas pela repetição de uma pequena unidade molecular, o monómero. A reação que dá origem ao polímero é designada por reação de polimerização, em que a molécula inicial (o monómero) se vai agrupando com outras originando o dímero, o trímero, tetrâmero e assim sucessivamente, até originar o polímero. O monómero utilizado na polimerização do PVC é o cloreto de vinilo, com a designação IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) de 1-cloroeteno, também conhecido pela sigla VCM (*Vinyl Chloride Monomer*). Este, à temperatura e pressão atmosférica apresenta-se como um gás incolor e com um aroma ligeiramente adocicado, apresentando um ponto de ebulição de  $-13,4^{\circ}\text{C}$ , pelo que, nas reações de polimerização é manuseado como um líquido volátil comprimido. A polimerização do VCM é uma reação exotérmica (1). O monómero apresenta uma ligação dupla entre carbonos e no decorrer da reação ocorre o rompimento da ligação  $\pi$ , dando origem a duas novas ligações simples. Esta reação encontra-se representada de forma genérica na Figura 2.



Figura 2 - Reação de polimerização do VCM (2).

O PVC é um polímero essencialmente amorfo ou de baixa cristalinidade. A sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é, aproximadamente,  $87^{\circ}\text{C}$ . Consequentemente, o PVC exibe alta resistência química e à corrosão, boas propriedades mecânicas, boa rigidez em materiais de pequena espessura, apresenta alta viscosidade nos polímeros com baixa massa molecular e capacidade de manter boas propriedades mecânicas mesmo quando se encontra altamente plastificado.

A presença do átomo de cloro na sua estrutura molecular confere uma natureza fortemente polar à sua cadeia polimérica e a sua conformação é essencialmente sindiotática (com os átomos de cloro dispostos de forma regular e alternadamente em lados opostos da cadeia). A polaridade, resultante da ligação carbono-cloro, vai permitir ainda que o polímero interaja com aditivos polarizados através de interações eletrostáticas, incluindo as forças de *Van der Waals* e interações dipolo-dipolo. Apesar do caráter fraco destas ligações, quando comparadas a outras ligações químicas, são suficientes para manter o aditivo e o polímero associados.

É devido à polaridade do polímero de PVC que é possível conceber formulações para as mais diversificadas aplicações (rígidas e flexíveis), isto é, no processamento do composto (ou *dry blend*, nome que se dá à mistura com os diversos componentes, sob a forma de pó seco de fluxo livre) (3).

### **2.1.1. Aspectos morfológicos**

A qualidade de uma resina de PVC está fortemente dependente das características morfológicas das partículas da resina e, estas por sua vez influenciam o mecanismo e o grau de gelificação durante o processo de extrusão, determinando deste modo o processamento e as propriedades do material.

A morfologia diz respeito ao tamanho médio das partículas, distribuição do tamanho de grão, porosidade, densidade aparente e valor K. O conceito de valor K traduz-se num índice de peso molecular médio de uma resina de PVC, que é determinado indiretamente através da avaliação viscosimétrica do polímero. Quanto maior o peso molecular da resina de PVC, maior é a viscosidade do seu fundido, e consequentemente o seu valor K (3).

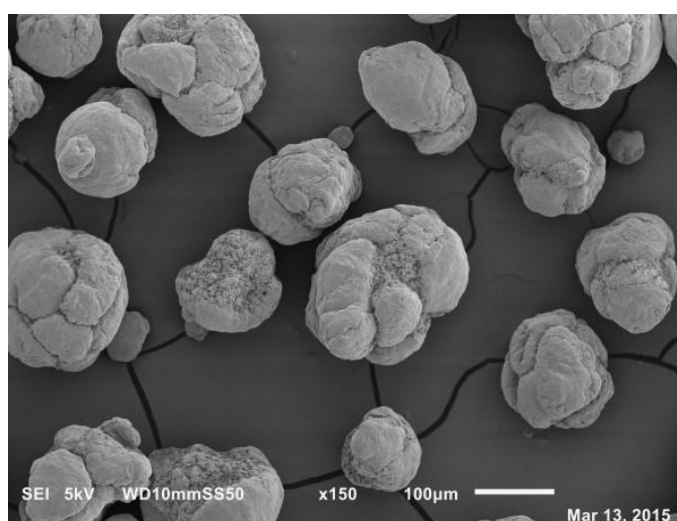
As resinas comerciais de aplicações gerais apresentam valores de K entre 55 e 75, existindo algumas resinas especiais com valores fora deste intervalo.

Tipicamente, valores K na ordem 57-64 são utilizados em aplicações rígidas, enquanto que em aplicações flexíveis o valor K é superior a 65. Há medida que o valor K aumenta, as propriedades mecânicas aumentam ligeiramente, para o mesmo tipo de formulação (2).

O PVC comercial é produzido essencialmente por 3 processos: polimerização em suspensão, emulsão e em massa. Cerca de 80 % da produção mundial de PVC é através do processo de polimerização em suspensão em fase contínua aquosa, sendo o processo mais importante para a produção de produtos finais de PVC rígidos ou flexíveis. Neste processo o VCM é alimentado, sob pressão, a um reator contendo água. São adicionados à mistura reacional um agente dispersante/estabilizante (que induzem a formação de uma camada coloidal protetora em redor dos grãos) e um iniciador radicalar solúvel no monómero, que serve para que a reação de polimerização ocorra dentro das gotas em suspensão, por um mecanismo de reação em cadeia via radicais livres. O conteúdo do reator é agitado por agitadores mecânicos e a mistura é aquecida até à temperatura da reação. As partículas da resina de PVC, após o processo de síntese, apresentam-se sob a forma de pó. Estas apresentam um grau de cristalinidade bastante reduzido (cerca de 5 a 10 %), forma irregular, têm um diâmetro entre 100 - 180  $\mu\text{m}$  e são normalmente cobertas com uma camada coloidal protetora. Por sua vez, cada grão da resina é constituído por inúmeras partículas, denominadas primárias, cujo tamanho varia entre 1 e 2  $\mu\text{m}$ , sendo que estas são compostas por domínios cujos diâmetros variam entre 100 e 300 Å, que consistem em regiões cristalinas, constituídas por estruturas lamelares de cadeias sindiotáticas,

interligadas por segmentos de cadeias desordenadas da região amorfa. As partículas primárias formam-se porque no processo de polimerização o PVC é insolúvel no seu próprio monômero. Os grãos da resina de suspensão apresentam uma superfície rugosa e irregular devido aos aglomerados das partículas primárias (4). Na Figura 3 encontra-se uma micrografia da resina de PVC de suspensão obtida através de microscopia eletrônica de varrimento (MEV).

A característica que torna o processo de incorporação de aditivos ao PVC possível é a porosidade presente nos grãos da resina, que se deve aos espaços vazios presentes entre os aglomerados de partículas primárias (5). A eficácia de empacotamento dos agregados de partículas primárias determina a porosidade dos grãos.



*Figura 3 - Grão da resina de PVC de suspensão (Ampliação de 150x) (3).*

A polimerização em emulsão representa cerca de 12 % da produção mundial e é usado principalmente em pastas ou plastisóis que consistem na dispersão da resina do PVC num plastificante. Aqui a água também é usada como meio dispersante. A diferença relativamente à polimerização em suspensão é que são usados tensoativos iônicos em vez de dispersantes coloidais. Quando a mistura reacional é agitada, o monômero VCM migra para o interior das micelas formadas pelas moléculas dos tensoativos. Quando o monômero polimeriza, as partículas de resina do PVC adquirem as dimensões do interior destas micelas esféricas com diâmetro entre 0,1 e 1 µm. As diferenças entre as resinas de suspensão e emulsão residem na estrutura ou na morfologia das suas partículas (sendo estas últimas são muito menos porosas). As diferenças estruturais conduzem a diferentes características de processamento dos respetivos compostos de PVC.

As resinas do processo de polimerização em massa apresentam semelhanças no tamanho da partícula, porosidade e na microestrutura relativamente às resinas de suspensão, a diferença é que no processo em massa não se utiliza a água como meio de reação (6).



Na Probos é utilizado o PVC em suspensão, porque é o mais adequado em processos de transformação que envolvam extrusão e pelo produto final ser rígido.

O PVC é fornecido, maioritariamente, pela Companhia Industrial de Resinas Sintéticas, Cires, Lda. Transportado via camião-cisterna, é descarregado e armazenado em silos após um prévio controlo de qualidade interno.

### **2.1.2. Gelificação e fusão de resinas de PVC**

As resinas de PVC sofrem um processo de gelificação e fusão quando aquecidas durante o seu processamento. Este ocorre em duas etapas: numa primeira etapa ocorre a desintegração morfológica através da combinação de temperatura, pressão e tensão de corte, havendo destruição das partículas primárias. Esta etapa é muito importante para que a resina se torne uma massa fundida e processável. Na segunda etapa, as partículas primárias dos grãos de PVC fundem-se. A presença de diferentes tipos e quantidades de aditivos num composto de PVC influencia diretamente o seu comportamento de gelificação e fusão, bem como as suas condições de processamento. Aquando da gelificação, a identidade dos grãos, das partículas primárias e dos domínios é progressivamente perdida, havendo então destruição parcial das zonas ordenadas. Durante o arrefecimento forma-se uma nova forma tridimensional, havendo novos entrelaçamentos moleculares e formação de novas estruturas ordenadas (cristalinidade secundária, de menor grau de perfeição). Desta forma a resina de PVC de suspensão, após processamento, passa a ter uma morfologia completamente diferente da inicial (5). A extensão a que ocorre a desintegração da estrutura original ou a intensidade com que se formam estas novas regiões cristalinas representa o chamado grau de gelificação e este, influencia o desempenho final do produto, no que respeita às suas propriedades mecânicas (4).

Produtos com um grau de gelificação deficiente ou elevado (sobreprocessados) apresentam propriedades mecânicas pobres, havendo por isso um valor ótimo. Durante o processo de fratura de um composto de PVC o esforço aplicado provoca a formação de pequenos vazios estruturais entre as partículas primárias remanescentes do processo de gelificação e fusão. Estes pequenos vazios ajudam a dissipar as tensões, porém, se o nível de gelificação for demasiado baixo, estas tensões podem não ser suficientes para separar as partículas primárias, uma vez que a ligação entre as mesmas é fraca o que provoca a fratura do material com alguma facilidade. Por outro lado se o grau de gelificação for próximo de 100%, forma-se uma matriz vítrea sem vazios estruturais, não ocorrendo o mecanismo de alívio de tensões e o material sofre uma fratura frágil devido à concentração de tensões e fácil propagação da fratura.

## 2.2. Aplicações

O PVC, primeiramente produzido industrialmente no final dos anos 1920, tornou-se um dos polímeros mais utilizados no mundo e é considerado um recurso eficiente, sendo menos dependente do petróleo, quando comparado com outros termoplásticos (7).

É utilizado numa vasta gama de aplicações, que vão desde PVC rígido ao PVC extremamente flexível, tirando partido das suas características de resistência ao fogo e às intempéries, baixa permeabilidade, isolamento térmico, elétrico e acústico, elevada transparência e uma boa relação qualidade/preço.

A grande versatilidade do PVC deve-se, também, à sua adequação aos mais variados processos de transformação: calandragem ou extrusão de filmes rígidos ou flexíveis, moldação por sopro de garrafas, extrusão de perfis e tubos e moldação por injeção.

Em 2013 foram consumidas cerca de 39 milhões de toneladas de PVC e prevê-se um aumento da sua procura global de cerca de 3,2% ao ano até 2021 (8).

Na Figura 4 encontram-se os principais setores de consumo mundial de PVC, de onde se conclui que a indústria da construção civil é o principal mercado de vendas de produtos fabricados a partir do PVC, nomeadamente em tubagens, pavimentos e revestimento de cabos. Outros produtos fabricados a partir do PVC são, por exemplo, embalagens para medicamentos e acondicionamento de alimentos, bolsas e tubos para transfusões de sangue, frascos para produtos cosméticos, brinquedos, revestimentos na indústria automóvel, sapatos, entre outros.

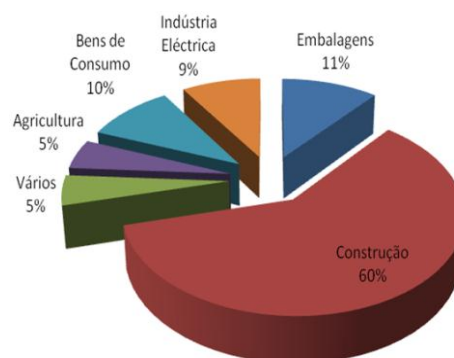


Figura 4 - Principais setores de consumo mundial de PVC (2).

Uma vantagem única do PVC em comparação com outros materiais é a possibilidade de alterar a formulação, para melhorar o desempenho do produto final.

## 2.3. Aditivos nas formulações de PVC

A resina de PVC só é processável na presença de certas substâncias ou compostos químicos, a que se dá o nome de **aditivos**. Esta capacidade de incorporação de aditivos antes da transformação do PVC em produtos finais torna-o bastante versátil, permitindo obter diversos tipos de formulações (3). No entanto, o PVC é o componente principal da formulação e os aditivos são adicionados em proporções adequadas para promover ou melhorar características técnicas específicas, necessárias a cada aplicação, como por exemplo, rigidez ou flexibilidade, transparência ou opacidade e ainda, resistência

às intempéries. São utilizados, não só para uma melhor performance do produto final, mas também para facilitar o seu processamento.

Os principais tipos de aditivos utilizados nas formulações de PVC são:

- ✓ **Estabilizantes:** são aditivos que atuam contra processos de deterioração do polímero, evitando a ocorrência de reações de degradação que envolvem a quebra de ligações. Uma forma comum de deterioração resulta da exposição à luz, em particular à radiação UV, uma vez que esta interage com algumas das ligações covalentes ao longo da cadeia molecular, causando a sua quebra, podendo resultar também na formação de algumas ligações cruzadas. Outro tipo importante de deterioração é a oxidação; esta é uma consequência da interação química entre o oxigénio e as moléculas do polímero. Os estabilizantes que protegem contra a oxidação consomem o oxigénio, antes de este atingir o polímero e/ou previnem que ocorram reações de oxidação, o que causa danos ao material.

Estas reações de degradação podem ocorrer durante o processamento do PVC e aquando do seu uso final, quando expostos ao calor, luz, agentes oxidantes ou às intempéries. Uma vez que, aquando do processamento do PVC se atingem temperaturas na ordem dos 150 - 195 °C e que se está na presença de oxigénio, são necessários vários tipos de aditivos desta natureza, nomeadamente estabilizantes térmicos (estáticos e dinâmicos) e antioxidantes.

Se o composto não estiver devidamente formulado em termos de estabilização térmica, pode dependendo do tempo e das condições de transformação, levar à desidrocloração do PVC, que consiste na libertação do cloreto de hidrogénio da cadeia polimérica e consequente formação de ligações cruzadas resultando no processo de degradação, revelado normalmente pela mudança de coloração para tons amarelados.

Os antioxidantes estabilizam a cor inicial do composto transformado. Exemplos de antioxidantes utilizados em compostos de PVC são os derivados de fenol estéricamente impedidos e algumas aminas aromáticas, fosfitos orgânicos e sais metálicos (9).

- ✓ **Cargas:** são incorporadas aos compostos de PVC com o intuito da redução de custos e alteração das propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas, tais como melhoria dos limites de resistência à tração e à compressão, resistência à abrasão, tenacidade, estabilidade dimensional, entre outras. Exemplos de cargas são carbonato de cálcio, calcite, caulino calcinado e talco (3).
- ✓ **Modificadores de Impacto:** são incorporados nas formulações de PVC rígido com o objetivo de melhorar o seu comportamento mecânico ao impacto, ou seja, absorvem

energia mediante solicitações de impacto e têm a capacidade de dissipá-la de forma não destrutiva. São, tipicamente, copolímeros elastoméricos, com baixas temperaturas de transição vítrea. Usualmente, o modificador é imiscível com o PVC, formando uma fase distinta e dispersa. A transferência da energia de impacto para as fases de elastômero requer não apenas uma boa distribuição do modificador, mas também uma boa adesão na interface entre as duas fases por ligação química ou reticulação física. A resistência ao impacto dos compostos de PVC está fortemente dependente das condições de processamento, nomeadamente do grau de plastificação do composto, orientação molecular no produto final e/ou tensões internas que são geradas no processamento.

Os modificadores de impacto mais comuns em formulações de PVC são: o MBS (metacrilato de metilo-butadieno-estireno), usado quando se pretende que o produto final seja transparente, por exemplo em formulações de filmes, laminados e frascos; o ABS, que confere opacidade ao produto final, sendo referencialmente utilizado em aplicações tais como perfis rígidos opacos de uso geral; o CPE (polietileno clorado), que oferece alta resistência ao impacto, especialmente a baixas temperaturas; e, ainda, alguns polímeros acrílicos, sendo que estes apresentam também algum efeito auxiliar de processamento.

O MBS e o ABS apresentam pouca resistência às intempéries, não sendo recomendável a sua utilização em aplicações para o exterior. Por outro lado, os modificadores de impacto tipo CPE ou acrílicos exibem excelente comportamento às intempéries.

- ✓ **Auxiliares de Processamento:** são incorporados nas formulações de PVC rígido com o objetivo de alterar o comportamento do composto durante o processo de gelificação e fusão e as características do fluxo da massa fundida. Estes aditivos atuam na melhoria da resistência, coesão e elasticidade da massa fundida e provocam o aumento da taxa de homogeneização e fusão do composto, mediante o aumento da viscosidade do fundido.

Dado que a massa fundida é, efetivamente, mais homogeneizada na presença destes aditivos, observa-se no produto final a melhoria de algumas propriedades mecânicas, brilho e transparência.

Tipicamente, são copolímeros acrílicos (acrilatos e metacrilatos), devido à sua alta compatibilidade com a resina de PVC.

- ✓ **Plastificantes:** são substâncias incorporadas com a finalidade de melhorar a flexibilidade, a ductilidade e a tenacidade dos polímeros, reduzindo a sua dureza e rigidez. Só se recorre a aditivos deste tipo se o produto que se quer obter for flexível. As pequenas moléculas dos plastificantes ocupam posições entre as grandes

cadeias poliméricas, contribuindo para um afastamento efetivo das cadeias e consequente redução nas ligações secundárias intermoleculares. Os plastificantes são, na grande maioria ésteres ou poliésteres.

As orlas Proadec são produzidas tendo em conta uma formulação de composto de PVC rígido, não havendo por isso a necessidade de se adicionar plastificantes.

- ✓ **Lubrificantes:** servem para promover/facilitar o movimento relativo entre as moléculas do polímero e/ou entre a massa polimérica fundida e a sua vizinhança. Os efeitos deste tipo de aditivos só devem ser sentidos durante o processamento, sob efeito da temperatura e do cisalhamento. Estes podem ser classificados como lubrificantes internos, externos ou uma combinação dos dois.

Os lubrificantes internos auxiliam a plastificação/gelificação, isto é, servem para reduzir a fricção entre as moléculas do PVC, facilitando o fluxo do polímero fundido e contribuindo para um menor grau de degradação térmica. Devem ser escolhidos tendo em conta que devem apresentar alta compatibilidade e miscibilidade com o PVC, uma vez que vão interagir intimamente com o polímero. Devido à maior compatibilidade com as moléculas do PVC, atuam como pseudoplastificantes, reduzindo substancialmente as forças de atração entre as cadeias poliméricas. Este efeito de pseudoplastificação facilita o processo de gelificação e fusão do composto no equipamento de transformação. Podem ser ésteres de ácidos gordos de álcoois polivalentes, álcoois gordos ou ésteres de álcoois gordos, onde predominam grupos fortemente polares.

Os lubrificantes externos atuam reduzindo o cisalhamento (e consequentemente facilitam o fluxo da massa fundida) entre o composto de PVC e as superfícies metálicas do equipamento, isto é, evitam a ocorrência do *plate-out*, que consiste na formação de depósitos de material de PVC nas superfícies metálicas dos equipamentos de processamento, como por exemplo no interior da extrusora (câmara, fusos e fiação). Este fenómeno é fortemente influenciado pelo balanço e a compatibilidade entre lubrificantes e estabilizantes térmicos. Os depósitos de material prejudicam o acabamento do produto final, provocando defeitos ou até perda de brilho do produto final.

Os lubrificantes externos apresentam baixa compatibilidade com o polímero. Desta forma o lubrificante externo terá maior tendência para migrar para as superfícies da cadeia polimérica, reduzindo assim o atrito desta com as superfícies com as quais contacta. Os lubrificantes externos são essencialmente substâncias apolares ou com baixa polaridade, como por exemplo, ácidos gordos, algumas amidas e hidrocarbonetos de alto peso molecular, como por exemplo as parafinas.

A utilização de lubrificantes ocorre tanto em formulações de PVC rígidas como flexíveis. Os lubrificantes internos são empregues quase exclusivamente em compostos rígidos, uma vez que nos flexíveis o próprio plastificante atua como lubrificante interno (pois, a presença de plastificantes alivia bastante o nível de atrito intermolecular).

A seleção adequada do lubrificante para as formulações de PVC deve ter em conta também a compatibilidade com os restantes aditivos (3).

- ✓ **Corantes/Pigmentos:** conferem uma cor específica ao polímero. Estes podem apresentar-se sob a forma de líquidos, pó ou granulado.

## 2.4. Processo de Mistura

Como referido anteriormente, a resina de PVC antes de ser processada é, consoante as características do produto final, formulada mediante a sua mistura com aditivos em misturadores intensivos do tipo batedeira, também designados misturadores de alta velocidade.

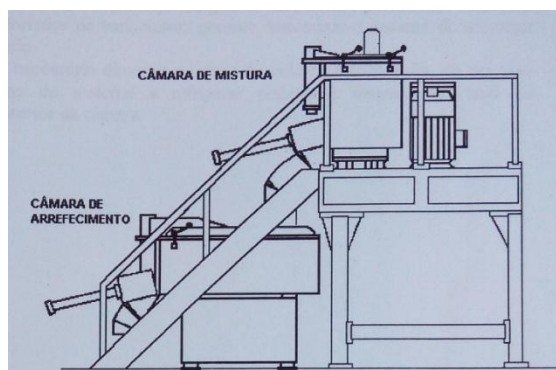
Tipicamente, um misturador consiste num equipamento de forma cilíndrica com um defletor e pás rotativas instaladas no fundo do misturador. As pás de mistura movimentam-se por acção de motores eléctricos capazes de fazê-las girar a altas velocidades contribuindo para uma maior qualidade, homogeneidade e fluidez da mistura, proporcionando o transporte pneumático da mesma sem segregação de componentes.

Toda a estrutura no processo de mistura e, que entra em contacto com a formulação é de aço inoxidável, a fim de evitar a aderência dos seus componentes. Consoante o tipo de produto final que irá ser produzido, são definidas diferentes condições de operação do misturador (3).

Na Figura 5, encontra-se representado o equipamento de mistura dos componentes da formulação de PVC, na Probos. Este é constituído por uma câmara de mistura e uma câmara de arrefecimento interligadas, mas montadas em estruturas independentes para que as vibrações de uma máquina não se transmitam à outra.

Após a introdução das matérias primas, pelo topo do misturador, dá-se início ao processo de mistura, até que a temperatura da massa atinja os 100 °C, para garantir a homogeneização de todos os componentes. Este aumento de temperatura é devido ao atrito e à fricção entre os diversos componentes, provocada pela alta rotação. Quando se atinge os 100 °C, a mistura é descarregada, de forma automática, para um arrefecedor, até atingir 55 °C de forma a evitar a formação de aglomerados que posteriormente dificultam o processamento. O arrefecedor consiste num equipamento cilíndrico, com uma camisa por onde circula água de arrefecimento e assim permitir uma troca de calor mais

eficiente. Nesta fase, o composto produzido é armazenado num silo temporário onde posteriormente vai alimentar as extrusoras.



*Figura 5 - Representação esquemática de um conjunto misturador intensivo /arrefecedor.*

## **2.5. Processo de Extrusão**

O PVC rígido apresenta alta viscosidade no seu estado fundido, sendo necessário ter atenção nas características técnicas da extrusora, uma vez que o seu processamento se dá sob regime de alto torque. A alta viscosidade do fundido também impõe maiores pressões ao processo. As temperaturas típicas de processamento de compostos rígidos de PVC variam entre os 130 °C e 195 °C. A linha de extrusão é composta por um conjunto de equipamentos, tais como: extrusora, fieira ou cabeça de extrusão, calandra, calandretes, sistema de arrefecimento do filme, sistema de aplicação e secagem de primário, e ainda o enrolador. A extrusora deve ser capaz de:

- ✓ Processar com facilidade o composto, a um débito uniforme (e o mais elevado possível);
- ✓ Fundir eficazmente o polímero;
- ✓ Homogeneizar o fundido em termos de temperatura e de composição volúmica, ou seja, misturar devidamente o polímero e os aditivos;
- ✓ Ter boa capacidade de gerar pressão de forma a vencer a resistência oferecida pela cabeça de extrusão e, se possível, que essa capacidade seja pouco sensível a variações de contra-pressão.

### **2.5.1. Alimentação Gravimétrica**

O composto de PVC é alimentado a uma tremonha que tem como função permitir um fluxo contínuo das mesmas para a extrusora. Durante a operação da extrusora é importante que a tremonha se mantenha tapada, para evitar que ocorra a contaminação da mistura e que a qualidade do produto extrudido seja comprometida, ou que ocorra desgaste mecânico nos componentes da máquina.

Da tremonha, o composto cai sob a ação da gravidade sob os fusos que o transportará dentro de uma câmara aquecida por resistências elétricas, sendo que, parte desse calor é promovido pelo atrito do material com as paredes da câmara.

### 2.5.2. Extrusora

A câmara de extrusão é um cilindro feito de aço especial para resistir à abrasão e possíveis ataques químicos, bem como suportar altas temperaturas durante o processamento. O cilindro é dividido em várias zonas de aquecimento, cada uma aquecida através de resistências elétricas em forma de cinta. Para a medição da temperatura de cada zona, são usadas sondas térmicas, as temperaturas são controladas através de um controlador de temperatura. Quando as temperaturas medidas são superiores ao valor estabelecido (*set point*), o controlador desliga as resistências e liga um sistema de arrefecimento, que consiste numa serpentina que contém óleo, situada entre a resistência e a câmara.

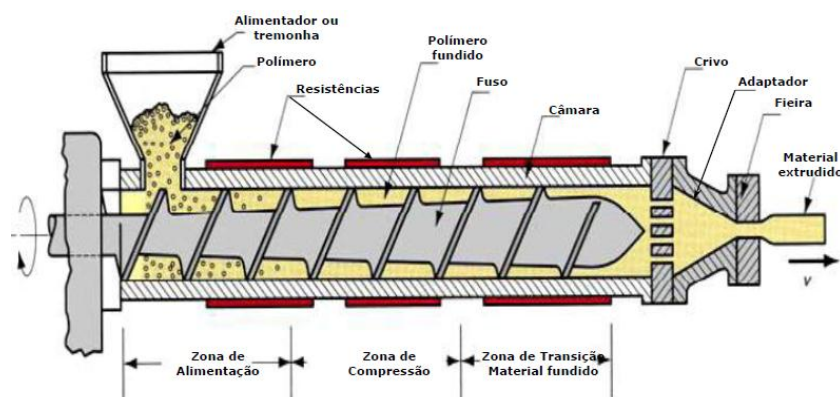


Figura 6 - Principais componentes da câmara de extrusão.

Uma peça fundamental da extrusora é o fuso, que consiste num cilindro roscado fabricado em aço especial, cuja superfície sofreu tratamentos (cromagem, nitruração e outros) para uma maior proteção contra a corrosão e para diminuição do coeficiente de atrito. Estes podem ser do tipo monofuso e duplo fuso cônicos ou paralelos sendo que, nas linhas de extrusão para o processamento de compostos de PVC sob a forma de pó é usado duplo fuso cônico contra rotativos, com o objetivo de provocar um aumento de pressão e facilitar a gelificação. Estes fusos têm um sistema de arrefecimento a óleo no seu interior, que serve para retirar o excesso calor da mistura. As extrusoras de monofuso são, normalmente, usadas quando se processam compostos na forma granulada.

Os fusos estão colocados dentro da câmara de aquecimento, com uma pequena folga (0,1 mm) e acoplado a um eixo de transmissão da caixa de redução do motor elétrico de acionamento que roda a uma velocidade constante pré-definida. Grande parte do trabalho mecânico exercido pelos fusos no material é convertida em energia calorífica suficiente para iniciar o processo de gelificação do produto.



O perfil geométrico dos fusos está intimamente ligado às propriedades do polímero a processar, nomeadamente o seu carácter amorfo ou cristalino (que dita o comportamento durante a fusão), níveis de viscosidade, estabilidade térmica, densidades de estado sólido e fundido. Os fusos são constituídos por 3 zonas distintas (zona de alimentação, zona de compressão ou mistura e a zona de dosagem ou saída) que podem ser evidenciadas na Figura 7. Na zona de alimentação ocorre o transporte do composto, em pó, para a zona de compressão. Esta zona encontra-se na zona de entrada do material na extrusora, e tem os canais (ou filetes) mais profundos em relação às outras zonas.

A zona de compressão é uma zona de transição, onde ocorre a compressão e a plastificação/gelificação do material. A profundidade dos canais é reduzida linearmente, desde a profundidade da zona de alimentação até à zona de dosagem, havendo um aumento de pressão no material que está no canal. Então, através do atrito contra as paredes do cilindro (aumentado pela pressão) e do aquecimento das resistências externas, o material é plastificado.

A zona de dosagem, também evidenciada na Figura 7, é também designada por zona de homogeneização (nesta zona, os sulcos dos fusos são continuamente direitos, provocando uma mistura eficiente) pois, devido ao movimento espiral do material dentro do canal dos fusos, o mesmo é misturado, homogeneizando a temperatura e a distribuição de aditivos na massa polimérica. O fluxo do material já plastificado é mais uniforme à saída da extrusora, melhorando por isso a distribuição do material na cabeça de extrusão.



*Figura 7 - Representação esquemática das várias zonas dos fusos.*

### **2.5.3. Fieira**

A sua função consiste em receber o material plastificado e distribuir o seu fluxo ao longo da secção desejada, conformando o material plástico que é extrudido pela sua abertura. Consoante as especificações relativas à espessura e largura das orlas que se pretendem extrudir é usada uma determinada fieira, pelo que a extrusora é projetada para poder suportar a montagem de fieiras de diversas configurações geométricas. Na Figura 8, encontra-se um exemplo de uma fieira aberta.

A fieira é feita em aço especial de modo a suportar a pressão e a temperatura resultante do processo de extrusão. Possui um canal ou cavidade interna cuja secção inicial é geralmente circular, e uma abertura na saída que irá conferir as dimensões geométricas do extrudido. A forma da secção do canal interno é gradativamente alterada ao longo do seu comprimento, como se pode evidenciar na Figura 8.



*Figura 8 - Parte superior (imagem da esquerda) e inferior (imagem da direita) de uma fieira.*

#### **2.5.4. Calandra e Calandretes**

A esta zona é alimentado o material extrudido, proveniente da fieira. Os rolos possuem um circuito interno fechado de água de arrefecimento e, o material ao passar nesta zona é arrefecido. A calandra é constituída por 3 rolos de tamanhos iguais, que giram a velocidades ligeiramente diferentes. Entre esses rolos, o rolo do meio, designado por rolo de gravação, possui um determinado desenho para ser gravado na orla, conferindo-lhe determinado acabamento.

Os calandretes são rolos distribuídos ao longo da linha de extrusão, após a calandra, contribuindo para o arrefecimento do filme.



*Figura 9 - Calandra.*

### 2.5.5. Torre de Aplicação e Secagem do Primário

Uma vez que as orlas, na sua aplicação final, vão ser coladas, é aplicado um primário de base solvente que irá permitir a adesão da cola à orla.

A aplicação do primário é feita nas torres de aplicação de primário através do princípio rotativo e da forma cilíndrica do rolo gravado. Este processo consiste na passagem do rolo pela tina de primário que posteriormente irá aplicar uma determinada quantidade em diferentes partes do filme/perfil. Isto é possível devido à gravação de células (cavidades) num rolo cilíndrico metálico.

A secagem do primário aplicado na orla é feita num túnel de secagem, que se situa logo a seguir à torre de aplicação do primário. No túnel é utilizado um sistema de ar quente e ar frio para proceder à secagem do primário, permitindo uma secagem direta e eficiente, ficando apenas na orla as partículas sólidas do primário.

### 2.5.6. Enrolador

Na etapa final das linhas de extrusão o material já processado é arrefecido e enrolado através de um equipamento designado enrolador. O enrolador possui um sistema de segurança em que, quando a bobine atinge um comprimento de perfil de 300 m, o sistema é acionado e o enrolamento é interrompido, só retomando a marcha quando o operador colocar a ponta no outro mandril para novo enrolamento.

Na linha em estudo, antes do enrolamento, há uma secção de corte e o material é enrolado em tripartido, ou seja em 3 rolos com 275 mm de largura cada, como se pode observar na Figura 10. A cada um destes rolos, por uma questão de identificação atribui-se a designação de lado 0,1 e 2. Há ainda a possibilidade de o material extrudido ser enrolado num só rolo com uma largura de 825 mm.



*Figura 10 - Enrolador com o material em tripartido.*

Por fim, as orlas extrudidas se não seguirem para a linha de impressão, isto é, se não forem pintadas, designam-se por lisos (ou unicolores) e seguem para os clientes.

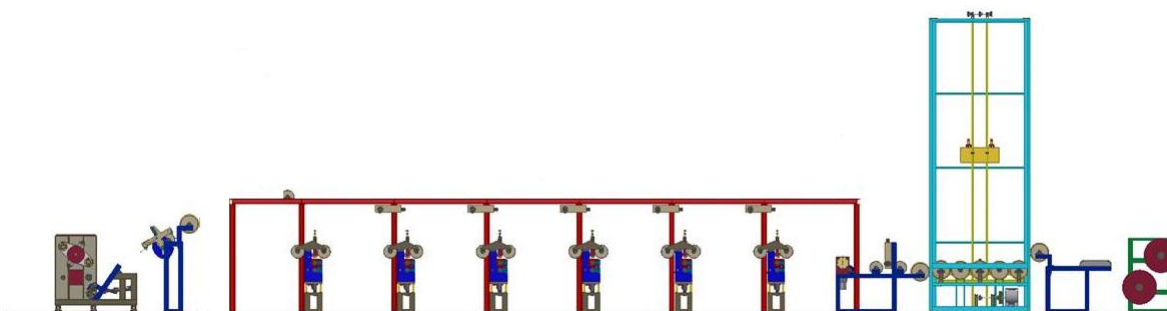
Se, por outro lado, ainda precisarem de ser impressas, designam-se por bases e seguem para uma linha de impressão. No fim do processo de impressão têm a designação de orlas impressas.

## 2.6. Processo de Impressão

O material extrudido que se destina a orlas impressas (base) avança para o processo de impressão. A linha de impressão é constituída por um conjunto de 6 torres cujo processo de impressão de tintas UV (isentas de solventes) é por sobreposição de *layers*. A primeira torre é responsável pela aplicação de uma tinta de cobertura, com o objetivo da uniformização da cor do plástico extrudido, a última torre é onde se aplica a laca, que serve para garantir a adesão das tintas/desenhos à orla e conferir o brilho desejado e as 4 restantes são responsáveis pela impressão de desenhos, dependendo da complexidade do desenvolvimento do desenho pretendido. O processo inicia-se no desenrolador, com o desenrolamento do rolo, proveniente da linha de extrusão, sendo posteriormente passado pelas 6 torres: em cada torre é feita a impressão e cura do material recorrendo a uma lâmpada de radiação UV. Por fim, volta a ser enrolado para posterior comercialização.

Na Figura 11, encontra-se representada a linha de impressão com as 6 torres (por questões de confidencialidade não se encontram representados todos os elementos da linha).

Este processo é agressivo para o material, sendo que a radiação UV interfere de forma destrutiva com as ligações da rede polimérica e o material depois de impresso fica mais sensível a solicitações de impacto.



*Figura 11 - Linha de Impressão.*

### 3. Materiais e Métodos

Neste capítulo são referidas as matérias primas usadas nas formulações que vão ser estudadas. Para além do ensaio industrial, foram feitos ensaios de reologia com as formulações em forma de pó e ensaios ao material extrudido, para posterior validação, ou não, face aos resultados obtidos. Estes ensaios foram feitos tendo em conta o que a empresa tem definido para aprovação de novos produtos/ matérias primas.

#### 3.1. Matérias-primas

As matérias primas usadas nos ensaios encontram-se listadas na Tabela 1, bem como a sua respetiva funcionalidade. Todos estes componentes apresentam-se, à temperatura ambiente, sob a forma de pó, com exceção do aditivo 1 que se apresenta sob a forma líquida, assim como os pigmentos, tintas e laca.

O custo total de matérias primas usadas, nas diferentes formulações testadas, nos ensaios industriais foi cerca de 12 185 €.

*Tabela 1 - Matérias primas usadas nas formulações.*

Componente	Função	Descrição
- Resina A - Resina B	Polímero	São as resinas de PVC.
- Estabilizante 1 - Estabilizante 2	São misturas (pack) de estabilizantes à base de cálcio e zinco.	São conjuntos de aditivos: estabilizantes térmicos estáticos e dinâmicos e anti-UV. Contém ainda lubrificantes externos e internos de baixo ponto de fusão que se vão ligar à cadeia polimérica do PVC e contribuir para uma fusão mais rápida da mistura.
- Aditivo 1	Antioxidante	Atua principalmente na "estabilização" do composto e respetiva cor inicial, evitando a sua oxidação.
-Carga	Carga	Confere opacidade e contribui para uma melhoria das propriedades mecânicas. Fica dispersa na matriz.
- Aditivo 2 (copolímero acrílico)	Auxiliar de processamento	Atua como lubrificante externo, isto é, evita a aderência do composto na câmara e fusos, bem como na fieira e rolos de

		acabamento (este fenómeno é denominado de <i>plate-out</i> ). Isto é possível devido à sua natureza química, ou seja à % de acrílico específico.
- Aditivo 3 (copolímero acrílico)	Auxiliar de Processamento	Permite uma fusão mais rápida e controlada do composto, contribuindo ainda para a sua homogeneização.
- Modificador 1 - Modificador 2 - Modificador 3 - Modificador 4 - Modificador 5	Modificadores de impacto	A sua função é dar resistência mecânica ao produto final, nomeadamente perante solicitações de impacto. Este composto estabelece ligações com a cadeia do polímero de PVC.
Pigmentos	Corantes	Colorir o composto de PVC. Podem ser de natureza orgânica ou inorgânica.
Tintas UV	Corante	Pintam a superfície do substrato (orla). São tintas acrílicas.
Laca UV	Proteção da pintura	Para além de protegerem a pintura de agentes mecânicos, conferem o brilho desejado.

### 3.1.1. Aumento do Débito

Para a realização deste projeto interessa fazer o estudo em dois tipos de formulações, a formulação ProClassic para lisos e formulação ProClassic de impressos. Esta última tem uma composição ligeiramente diferente (como se pode verificar na Tabela 2) pois vai ainda ser sujeita, após extrusão, ao processo de impressão com tintas UV. Procederam-se a ensaios com as formulações padrão, de lisos e impressos, que são as que se encontram em produção (consideradas de referência) e com formulações a estudar.

Nas novas formulações em estudo para o aumento do débito foi introduzida uma nova resina de PVC, de menor peso molecular, menor valor K e, consequentemente menor viscosidade (resina B). Comparativamente à resina A, a B é também um homopolímero de cloreto de vinilo, com valor de porosidade média semelhante e o mesmo valor típico de densidade aparente. Ambas apresentam excelente estabilidade térmica e são de fácil processamento. Teoricamente, uma maior facilidade de processamento intrínseco ao

menor valor K da resina B poderá contribuir para o aumento do débito da extrusora. Esta é a hipótese que se pretende validar com os ensaios industriais que se pretendem realizar.

Na Tabela 2, as formulações LA e IA são as formulações padrão de liso e impresso, respetivamente com o estabilizante 1; as formulações LC e IC são as formulações padrão com o estabilizante 2. Estes são estabilizantes de fornecedores diferentes e que se encontram em produção, pelo que se realizaram ensaios da alteração da resina de PVC nas formulações com ambos os estabilizantes, a fim de avaliar qual destes apresenta melhor desempenho.

Na Tabela 2 é possível consultar a composição dos respetivos componentes de cada formulação industrial testada. Tipicamente, as composições dos aditivos das formulações de compostos de PVC são definidas em pcr (partes por 100 kg de resina). Notar que com o estabilizante 2 fez-se mais uma formulação de liso e impresso (LE e IE) com apenas a resina B, enquanto que com o estabilizante 1 se fez apenas 2 formulações (com apenas a resina A e outra com a mistura das duas resinas), pois à data que se realizaram os ensaios com apenas a resina B era este o estabilizante que se encontrava em produção.

*Tabela 2 - Composição das formulações testadas com vista ao aumento do débito, em pcr\*.*

Componentes	Formulações Liso					Formulações Impresso				
	LA	LB	LC	LD	LE	IA	IB	IC	ID	IE
Resina A	100,0	50,0	100,0	50,0	-	100,0	50,0	100,0	50,0	-
Resina B	-	50,0	-	50,0	100,0	-	50,0	-	50,0	100,0
Estabilizante 1	6,1		-			6,1		-		
Estabilizante 2	-		6,1			-		6,1		
Aditivo 1	2,0									
Carga	10,0									
Aditivo 2	0,7					1,0				
Aditivo 3	1,3					0,7				
Modificador 1	5,3					8,8				

\*Nesta tabela, só se evidencia as composições dos componentes que variaram, pelo que, para cada formulação, as células que se encontram em branco têm valor de composição igual ao da formulação da coluna imediatamente anterior (à esquerda). Assim, ficam evidenciados os componentes, bem como respetivas composições que variam nas formulações testadas.

### 3.1.2. Modificadores de Impacto alternativos

Com vista a obtenção de um produto que exibisse um melhor comportamento face a solicitações de impacto, foi feita uma pesquisa de vários modificadores de impacto dos quais foram selecionados quatro para realização de ensaios. Estes são polímeros de natureza acrílica (modificadores 3,4 e 5) e de MBS (modificador 2). Todos eles têm como características principais nas suas respetivas fichas técnicas o facto de serem usados em formulações de PVC rígido provocando no geral uma melhoria nas propriedades mecânicas

do produto final, nomeadamente permitem que o produto final exiba alta performance face a solicitações de impacto depois de estes serem expostos às intempéries e à radiação UV.

Atualmente é utilizado o modificador 1 (de natureza polimérica), como modificador de impacto, nas formulações padrão, devido ao seu reduzido custo comparativamente aos restantes.

Tal como anteriormente, são feitos ensaios industriais com as formulações de liso e impresso com o estabilizante 2, pois era este que se encontrava em produção à data dos ensaios.

Com o objetivo de comparar qual o modificador de impacto que confere melhor performance ao produto final face a solicitações de impacto, os ensaios realizados foram feitos usando as mesmas composições das formulações padrão, evidenciadas na Tabela 2 (LC e IC), onde se substituiu o modificador 1 pelos modificadores em teste.

### **3.2. Ensaio Industrial**

O ensaio industrial inicia-se com o processo de mistura. Esta é feita num misturador, com capacidade de 150 kg por mistura (*batch*). Todos os componentes sólidos de cada formulação são previamente pesados, com as quantidades definidas na Tabela 2. De seguida a mistura ocorre como descrita no capítulo 2.4, e quando a temperatura da mistura no misturador atinge os 85 °C, a velocidade de rotação das pás diminui para metade e é introduzido o aditivo 1, porque é nesta altura que os grãos de PVC estão mais aptos a incorporar este aditivo. Durante o processo de mistura são monitorizados parâmetros como o tempo de mistura, a humidade e a temperatura final, antes de a mistura ser descarregada para o arrefecedor. Estes valores encontram-se no Anexo 2. O tempo é medido com um cronómetro, a temperatura e o teor de humidade são medidos com um termo-higrómetro.

Após o processo de arrefecimento até os 55 °C, o composto alimenta a extrusora para obtenção do produto objeto deste estudo.

Foram feitas 3 misturas de cada formulação em estudo com vista a aumento de débito da extrusora, uma vez que o misturador usado só tem a capacidade de fazer uma mistura de 150 kg. Assim é garantida a quantidade suficiente de matéria prima para a estabilização das condições de operação da linha de extrusão e tempo suficiente para a medição do débito. Para as formulações em estudo para o aumento da resistência ao impacto fez-se apenas duas misturas para garantir a estabilização das condições de operação da extrusora.



O processo de extrusão ocorre como descrito no capítulo 2.5. O material extrudido resultante é recolhido e reservado para futuros ensaios. O material das formulações para impressos (bases) segue ainda para o processo de impressão, como anteriormente descrito no capítulo 2.6.

### **3.3. Medição do débito da extrusora**

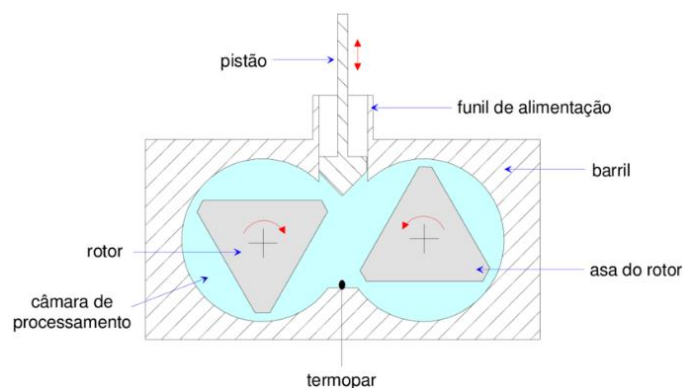
O débito da extrusora foi determinado da seguinte forma: cronometrou-se e pesou-se o material extrudido durante 1 minuto. Isto foi feito 3 vezes para cada formulação testada. Depois é feita a média das 3 pesagens de cada formulação e obtém-se a quantidade, em kg/min. Multiplicando por 60 minutos determina-se então o débito em kg/h.

### **3.4. Ensaio de Reometria de Torque**

O ensaio de reometria de torque serve para o estudo do comportamento de gelificação e fusão de compostos de PVC, permitindo avaliar a processabilidade do composto.

O equipamento utilizado para os ensaios de reologia foi o *Brabender Plasticorder*, tipo PLE 331. A medição baseia-se na resistência que o material de teste oferece contra lâminas rotativas na cabeça de mistura, sendo uma maneira indireta de inferir acerca da viscosidade do composto. A força proporcional a esta resistência impulsiona o dinamómetro a partir da posição zero. O dinamómetro está ligado a um sistema mecânico de medição preciso (com um intervalo de torque de 0-20000 m.g) acoplado a um sistema de gravação. O controle da velocidade de rotação das lâminas rotativas é feito com um tristor de corrente contínua (0-150 rpm). A temperatura vai sendo medida por um termopar acoplado a um sistema de gravação. A câmara de processamento onde vai ser introduzida a amostra é tipicamente, denominada de cuba e é formada por duas meias câmaras interconectadas. No centro das meias câmaras existem rotores formados por um núcleo e uma ou mais asas helicoidais que giram em direções opostas (contra rotação). A Figura 12 ilustra a secção transversal de uma câmara. Os rotores utilizados são de alta intensidade tipo *roller*, pois são os mais apropriados para a dispersão de cargas particuladas em compósitos de matriz termoplástica (10).

A amostra é introduzida a um fluxo constante, através de uma porta de alimentação, situada entre as duas meias câmaras e consiste num funil e pistão. No final de cada ensaio/ciclo de processamento, a câmara é desmontada e o material ainda quente, fundido ou amolecido é retirado manualmente.



**Figura 12 - Seção transversal de uma câmara de processamento de um reômetro (10).**

Os resultados obtidos são gravados num *software*, sob a forma de gráficos: torque em função do tempo e temperatura em função do tempo. Através da análise destas curvas é possível determinar parâmetros importantes relativos ao processamento do material, nomeadamente, o tempo necessário para a fusão do composto e o torque de estabilização/ equilíbrio que permite inferir acerca da viscosidade do fundido. Antes de se procederem aos ensaios com as várias amostras é necessário identificar as condições de operação do reômetro que permita obter curvas satisfatórias para análise e consequente comparação de resultados.

Os ensaios com cada formulação foram feitos mantendo as mesmas condições operatórias do reômetro:

- Massa da amostra: 29 g
- Temperatura da câmara: 160 °C
- Velocidade de rotação: 60 rpm

Com a finalidade de avaliar se a quantidade de amostra usada para os ensaios influencia o comportamento da curva do torque em função do tempo repetiram-se os ensaios com uma massa de 30 g e 28 g. Estes encontram-se no Anexo 3.

Os gráficos obtidos foram interpretados à luz do comportamento reológico de compostos de PVC rígido.

### 3.5. Ensaio de Impacto

Este ensaio é realizado de acordo com a norma ISO 7765-2<sup>1</sup> e foi realizado no equipamento ilustrado na Figura 13. É medido pela queda de um dardo com uma massa de aproximadamente 303 g.

<sup>1</sup>Plastics film and sheeting - Determination of impact resistance by the free-falling dart method - Part 2: Instrumented puncture test.



*Figura 13 - Equipamento utilizado para medição do impacto por queda do dardo.*

Para a realização deste ensaio é necessário começar por preparar as amostras, pois como referido anteriormente o material depois de extrudido é enrolado de forma tripartida em rolos com larguras de 275 mm. Para cada um destes rolos, identificam-se duas zonas ao longo da largura e são cortados 8 provetes em cada zona ao longo do comprimento.

Este ensaio é feito no material com a designação de liso, base e impresso.

O ensaio foi feito de acordo com o seguinte procedimento:

- Cortar amostras quadrangulares com cerca de 80 mm e medir a espessura;
- Colocar o provete na máquina (suporte) e apertar os parafusos;
- Elevar o peso até à altura mínima especificada para o produto, de acordo com a Tabela 3;
- Deixar cair e registar o resultado final;
- Se o resultado for “não partir”, subir 20 cm e repetir o ensaio. Quando atingir um valor em que o material parta, começar a subir de 10 em 10 cm;
- Se o resultado for “partir”, descer 20 cm e repetir o ensaio. Quando atingir um valor em que o material não parta, começar a subir de 10 em 10 cm.

*Tabela 3 - Altura mínima em que provetes partem em cada zona.*

<b>Produto</b>	<b>Altura mínima a que se deve começar o ensaio</b>
Liso	≥ 90 cm
Base	≥ 100 cm
Impresso	≥ 80 cm

Nas tabelas do Anexo 5 encontram-se os registos dos resultados por provete, bem como a medição da sua espessura com um espessímetro.

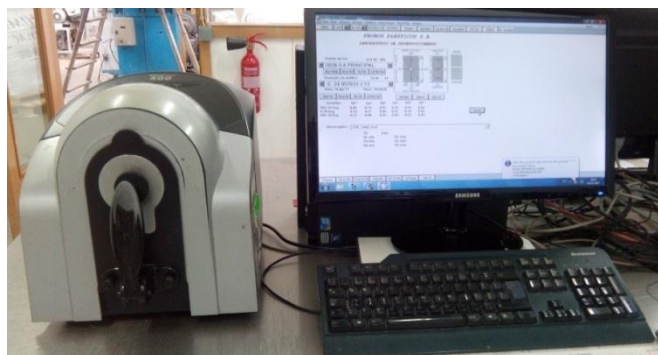
Com as novas formulações, para o estudo do aumento da resistência ao impacto, o que se pretende é aumentar os valores da altura mínima a que os provetes quebram, pois esta é uma forma de verificar se se aumentou a resistência ao impacto.

### 3.6. Confirmação da Cor - Espectrofotómetro

Este ensaio foi feito num espectrofotómetro *Datacolor 400*, que se encontra representado na Figura 14. Este equipamento encontra-se acoplado ao programa *Datacolor* no computador. Este ensaio é feito no material com a designação de liso e base e serve para medir a cor no espectro da luz visível, de acordo com o iluminante D65 (luz do dia).

A cor é um ponto num espaço tridimensional, isto é, resulta de um conjunto de 3 coordenadas, são elas: L (a luminosidade: de 0 a 100), a (entre verde - valores negativos e o vermelho - valores positivos) e b (entre o amarelo - valores positivos e azul - valores negativos).

É recolhida uma amostra de cada um dos lados, cerca de 2 m ao longo do comprimento de cada rolo. De seguida identificam-se duas zonas em cada lado e é feita uma primeira leitura da cor num ponto de cada zona, que será o ponto de referência, isto é o padrão. Depois são feitas mais seis leituras de pontos da amostra igualmente espaçados contra o ponto que se considerou ser o padrão de cada uma das zonas. Na Figura 15 encontram-se representados os pontos de leitura da cor. Por exemplo no Lado 0, há duas zonas: A e B. Os pontos 0.A e 0.B são o padrão da zona correspondente. No fim é feita a leitura do ponto 0.A em relação ao ponto 0.B. Para o Lado 1 e 2 repete-se o mesmo procedimento.



**Figura 14 - Espectrofotómetro.**

Após a leitura da cor de cada ponto o programa gera um conjunto de resultados que são em função do ponto lido com o ponto padrão. Os parâmetros gerados são:

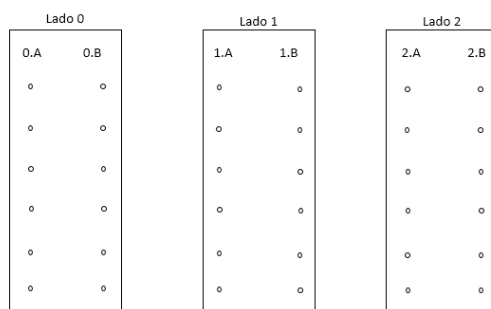
$$\Delta L = L_{\text{ponto lido}} - L_{\text{ponto padrão}} \quad (1)$$

$$\Delta a = a_{\text{ponto lido}} - a_{\text{ponto padrão}} \quad (2)$$

$$\Delta b = b_{\text{ponto lido}} - b_{\text{ponto padrão}} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

Onde  $\Delta E$  resulta da combinação das 3 coordenadas com o ponto que serve de referencial (padrão). Este valor não deverá ser superior a 0,5 (limite definido pela empresa). O programa calcula  $\Delta E$  médio para cada um dos lados, bem como o desvio padrão das medidas efetuadas, que é um valor que reflete a variabilidade dos valores de  $\Delta E$  medidos em relação ao  $\Delta E$  médio.

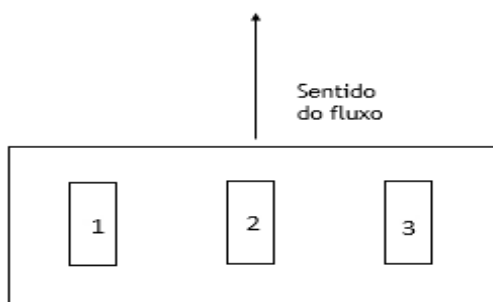


**Figura 15 - Representação esquemática dos pontos de leitura da cor.**

### 3.7. Brilho

A medição do brilho é feita com um brilhômetro de acordo com a norma NP EN ISO 2813:2016<sup>2</sup> e é feito no material com a designação de liso e base. O procedimento é o seguinte:

- Colocar a amostra sobre a mesa de trabalho;
- Ler o valor registado no visor do medidor (ângulo de incidência do feixe de luz para a leitura de 60°);
- Deslocar sucessivamente o medidor de brilho sobre a amostra, de modo a ter 3 zonas de leitura, sensivelmente equidistantes ao longo da largura, conforme indicado na Figura 16. Em cada zona fazer a leitura de oito pontos ao longo do comprimento. Repetir este procedimento para os 3 lados.



**Figura 16 - Representação da posição do brilhômetro para a medição do brilho.**

<sup>2</sup>Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees.

### 3.8. Ensaio de Determinação da Dureza

Este ensaio é realizado com um durómetro, cuja unidade de medida é Shore D e é realizado de acordo com a norma ISO 868<sup>3</sup> e ASTM D2240<sup>4</sup>. Este equipamento encontra-se representado na Figura 17. Este ensaio é realizado no material com a designação de liso e base. As amostras devem ter dimensões (largura e comprimento) superiores a 24 mm, cortadas paralelamente à direção da produção. Uma vez que as amostras têm uma espessura inferior a 3 mm sobrepor as amostras no suporte do durómetro de forma a perfazer este valor. Deve ter-se em atenção que a amostra não deve ter curvatura.

Para a realização do ensaio:

- Colocar as amostras no suporte do durómetro;
- Colocar o durómetro em contacto com a superfície em posição vertical a uma distância mínima de 9 mm dos bordos da amostra;
- Colocar rapidamente o aplicador de pressão do durómetro, tendo o cuidado deste ficar paralelo á superfície. Aplicar a força suficiente para ter um contacto firme entre o aplicador e a amostra;
- Ler o valor indicado na escala após  $15 \pm 1$  s;
- Fazer 8 leituras em diferentes posições com distância de pelo menos 6 mm entre elas) e determinar o valor médio.



*Figura 17 - Durómetro usado para a medição da dureza.*

### 3.9. Resistência à Abrasão

Este ensaio foi realizado num abrasímetro rotativo *TABER Industries, 5130 Abraser*, de acordo com a norma ISO 7784/2:2016<sup>5</sup>. Este equipamento encontra-se representado na

---

<sup>3</sup>Plastics and ebonite - Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).

<sup>4</sup> Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness.

<sup>5</sup> Paints and Varnishes - Determination of resistance to abrasion - Part 2: Method with abrasive rubber Wheels and rotating test specimen.

Figura 18. Só os materiais impressos (pintados) é que vão ser submetidos a este ensaio. Este ensaio pretende avaliar o nível da resistência à abrasão.

Começa-se por preparar as amostras cortando os provetes para o ensaio com formato circular. No abrasímetro, cada amostra é sujeita a um número de rotações pretendido.

O critério de aceitação é que a camada de tinta deverá resistir 150 ciclos para o tipo de acabamento utilizado.



*Figura 18 - Abrasímetro.*

### **3.10. Ensaio de Solidez da Cor à Luz UV**

O ensaio de solidez da cor à luz após exposição à radiação de lâmpadas de arco Xenon é feito segundo as normas ISO 4892-2:2013<sup>6</sup> e ISO 11341:2009<sup>7</sup> adaptadas. Este ensaio é realizado no material com a designação de liso, base, e impresso.

O procedimento é o seguinte:

- De cada amostra a ensaiar, retiram-se dois provetes: um será guardado para servir como padrão enquanto o outro será o provete de ensaio;
- Verificar se estão corretamente definidas as condições de ensaio no equipamento a utilizar e colocar os provetes de ensaio na câmara. São definidos 2 ciclos de 75 h cada. No final de cada ciclo, dever-se-á alterar o posicionamento dos provetes rodando-os da direita para a esquerda (de forma a garantir que todos são expostos ao mesmo nível de radiação);
- Condições do ensaio:
  - equipamento utilizado: Suntest XXL+
  - tempo total de exposição (horas)=150 h
  - temperatura média do corpo preto = 70 °C
  - temperatura da câmara = 40 °C
  - energia da radiação = 50 W/m<sup>2</sup>
  - filtros usados: Vidro

---

<sup>6</sup>Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 2: Xenon-arc lamps.

<sup>7</sup>Paints and varnishes - Artificial weathering and exposure to artificial radiation - Exposure to filtered xenon-arc radiation.

-teor de humidade = 18 %

- No final dos dois ciclos comparar as amostras com a respetiva amostra padrão e analisar os resultados de acordo com a escala dos cinzentos (norma ISO 105-A03:1993/Cor 2:2005<sup>8</sup>).

### **3.11. *Pinking* (Rosamento) a 50 °C e 70 °C**

Este ensaio é realizado no material com a designação de liso, base e impresso. Pretende simular um ambiente de alta temperatura para verificar o comportamento deste material (nomeadamente o seu “rosamento”), perante as intempéries.

Procedeu-se da seguinte forma:

- Preparam-se 3 provetes (15 mm por 4 mm) de cada amostra do material liso e base (um irá para a estufa a 50 °C, outro para a de 70°C e o terceiro fica á temperatura ambiente e irá servir de padrão para futura comparação entre eles);
- No material impresso preparam-se amostras com a dimensão de uma folha A4;
- Colocam-se as amostras na estufa a 70 °C e passados 7 dias, retiram-se;
- Colocam-se as amostras na estufa a 50° C e passados 28 dias retiram-se;
- As amostras do material impresso, após o período em que estão nas estufas, são ainda sujeitas ao ensaio de Adesão pelo Método da Quadrícula (Cross);
- Depois comparar com o provete padrão e avaliar de acordo com os critérios da Tabela 77 do Anexo 6.

### **3.12. Ensaio de Rasgamento**

O objetivo deste ensaio é avaliar visualmente o rasgamento linear do material. Realiza-se da seguinte forma:

- Recolher uma amostra dos rolos correspondentes a cada lado com a largura da extrusão (275 mm) e com cerca de 500 mm de comprimento;
- Fazer pequenos cortes ao longo da largura com cerca de 20 cm de distância;
- Fazer o rasgamento a partir dos cortes com as costas do material virado para o executante;
- Puxar um dos lados no sentido do executante e com a outra mão apenas segurar o material.

O ensaio estará conforme quando o material rasga linearmente. O ensaio estará não conforme quando o material rasga de forma irregular (em forma *zig-zag*).

---

<sup>8</sup>Textiles - Tests for colour fastness - Part A03: Grey scale for assessing staining.



### 3.13. Ensaio de Adesão pelo Método da Quadrícula (Teste do *Cross*)

Este teste serve para verificar se as tintas de impressão e a laca têm boa adesão à orla e é feito de acordo com a norma ISO 2409:2015<sup>9</sup> adaptada. As amostras do material impresso de cada rolo (lado) devem ter as dimensões de uma folha A4, sensivelmente. Este ensaio é realizado de acordo com o seguinte:

- Fazer 3 cortes espaçados, em quadrícula (90°), utilizando o *Cross Hatch Cutter* com um espaçamento entre lâminas de 2 mm. Antes do corte verificar o estado da lâmina;
- Limpar a superfície a testar;
- Cortar uma tira de fita adesiva com cerca de 15 cm de comprimento;
- Colar a fita adesiva sobre as zonas da amostra onde foram feitas as quadrículas, deixando uma parte da fita descolada (de modo a poder descolar);
- Pressionar fortemente a fita, com o cilindro de aço contra a amostra em cima de uma superfície rígida e plana, de modo a que as duas superfícies fiquem bem coladas;
- Descolar a fita premindo com uma mão a amostra contra a mesa e com a outra pegar na zona da fita adesiva não colada e arrancá-la bruscamente da amostra, com um ângulo aproximado de 60 °;
- Os resultados são analisados e classificados de acordo com a Tabela 79 do Anexo 6.

---

<sup>9</sup>*Paints and varnishes - Cross-cut test.*

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Aumento de débito da linha de extrusão

Um dos objetivos deste trabalho é o aumento do débito da linha de extrusão, que se traduz no aumento da capacidade produtiva, isto é, no aumento do valor em kg/h. Foi proposto atingir este objetivo sem alterar as condições de operação da extrusora, uma vez que esta se encontra a trabalhar em condições otimizadas. A abordagem possível passa então pela alteração da formulação de PVC, nomeadamente da resina, procurando obter-se uma mistura que possua uma maior velocidade de escoamento e, consequentemente um menor tempo de residência dentro da extrusora.

As resinas de menor valor K, devido a uma maior mobilidade das suas moléculas, são mais fáceis de gelificar do que resinas de maior valor K, cujas moléculas apresentam menos mobilidade. Isto deve-se ao facto de que, na etapa de fusão das partículas, a estrutura original dos grãos ou dos aglomerados de partículas de PVC é mais facilmente destruída, quanto menor for o seu peso molecular (e consequentemente o seu valor K). Como referido anteriormente, quanto maior o valor K de uma resina de PVC, maior será a viscosidade do seu material fundido, pois um maior comprimento das cadeias moleculares possibilita uma maior probabilidade de ocorrência de emaranhamentos (*entanglements*) entre as cadeias, dificultando assim o fluxo do material fundido.

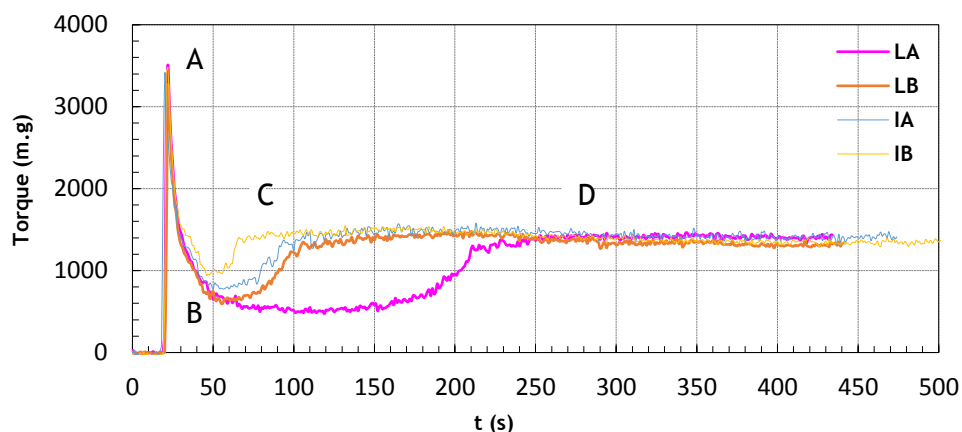
Com os ensaios de reologia comprovou-se que as formulações contendo apenas a resina de referência (A) apresentam tempos de fusão mais elevados comparativamente às formulações contendo a resina B (de menor valor K).

#### 4.1.1. Ensaios de Reologia

Pretende-se avaliar não só qual a resina que apresenta melhor desempenho, mas também se o estabilizante tem alguma influência no processamento do composto. Para isso analisaram-se as formulações apresentadas na Tabela 2.

Estes ensaios apenas permitem tirar conclusões qualitativas, e não quantitativas, acerca do tempo de fusão, uma vez que as curvas obtidas não exibem o comportamento típico de formulações de PVC rígido, pois não apresentam picos de fusão bem definidos. Acredita-se que este facto é devido ao tipo de formulação usada, sendo fruto da combinação de todos os aditivos. No entanto, o tempo a que ocorre a fusão do composto pode ser estimado traçando uma reta tangente entre os pontos B e C, representados na Figura 19. O tempo de fusão estimado resulta da interseção desta reta com uma reta horizontal que interceta o eixo das ordenadas no valor de torque de equilíbrio. Nas curvas representadas nas figuras seguintes repetiu-se este método para estimar o tempo de fusão das várias

formulações testadas. Antes da análise comparativa das mesmas interessa perceber o comportamento típico das curvas obtidas.



**Figura 19 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de liso e impresso com o estabilizante 1.**

Analisando a Figura 19, o pico A designa-se por pico de carga e representa o valor máximo de torque, correspondendo à introdução da amostra na câmara misturadora do reómetro. Devido à velocidade de rotação dos rotores, são geradas elevadas taxas de corte no volume disponível da câmara misturadora, pelo que os grãos de PVC vão sendo progressivamente destruídos, havendo a libertação das partículas primárias e dos seus agregados, que oferecem uma menor resistência ao movimento dos rotores (e o valor de torque vai diminuindo progressivamente entre os pontos A e B).

A elevada compactação e densificação dos grãos é responsável pelo valor mínimo de torque - ponto B. De seguida inicia-se a fusão do material provocando um novo aumento do binário (devido aos novos entrelaçamentos moleculares e à formação de algumas zonas cristalinas) até ao ponto C, designado por pico de fusão (se bem que nestes ensaios, como referido, não seja de facto visível um pico). Neste ponto considera-se que o composto esteja praticamente fundido, embora existam nesta fase partículas primárias que vão fundindo à medida que o composto continua a ser processado.

A partir do ponto C o material fundido atinge o valor de torque de equilíbrio (ponto D) que é proporcional à viscosidade do polímero fundido. O valor de torque de equilíbrio depende das condições de ensaio (nomeadamente, massa de amostra, temperatura e rotação) e da formulação testada (tipo de resina, com determinado valor K e quantidade de lubrificantes).

No ponto D, a este valor de torque constante corresponde um material com elevado grau de homogeneização em condições de poder ser moldado/conformado num molde ou fieira. Apesar de não estar demonstrado na curva, caso se tivesse prolongado o tempo do ensaio, o composto começaria a degradar-se, ocorrendo a formação de reticulações o que provoca

um aumento da viscosidade e consequentemente do torque e a curva iria exibir um pico de degradação (11).

A Figura 19 permite analisar o efeito da alteração da resina das formulações lisos e impressos, com o estabilizante 1 e, verifica-se que a formulação com a resina de referência (LA) apresenta um tempo de fusão maior relativamente à formulação LB (com a mistura das duas resinas na proporção 50:50). O mesmo se verifica com as formulações de impressos, isto é, a formulação de impresso com a resina de referência, IA, apresenta maior tempo de fusão quando comparada com a formulação IB (50:50).

Neste gráfico é ainda possível constatar que a formulação de lisos, com a resina de referência (LA), apresenta maior tempo de fusão comparativamente à formulação de impresso com a mesma resina de referência (IA).

Constata-se que todas as formulações representadas neste gráfico tendem, sensivelmente para o mesmo valor de torque de equilíbrio.

De uma forma geral, as formulações de lisos apresentaram maiores tempos de fusão comparativamente às formulações de impressos. Esta diferença de comportamento pode ser explicada, analisando as respetivas composições dos aditivos, que se encontram na Tabela 2.

O aditivo 2 é um auxiliar de processamento promovendo uma maior homogeneidade da massa fundida, e melhorando a resistência, alongamento e elasticidade do composto fundido. Atua ainda como lubrificante externo, uma vez que este apresenta baixa compatibilidade com o PVC, tendo tendência para migrar para as superfícies da cadeia polimérica reduzindo o atrito desta com as superfícies do equipamento; evitando assim a aderência da massa fundida às superfícies metálicas quentes. O uso deste aditivo geralmente atrasa a fusão do composto (12), pois devido ao efeito que este aditivo tem, a geração de calor devida à fricção entre o composto e as superfícies do material (aquecimento extra) é menor. Assim sendo, as formulações de impresso que contêm uma maior quantidade deste aditivo deveriam apresentar tempos de fusão superiores às formulações de lisos. No entanto, isto não se verifica uma vez que o efeito deste aditivo no tempo de fusão só é significativo quando este é usado nas formulações em quantidades superiores a 1 pcr.

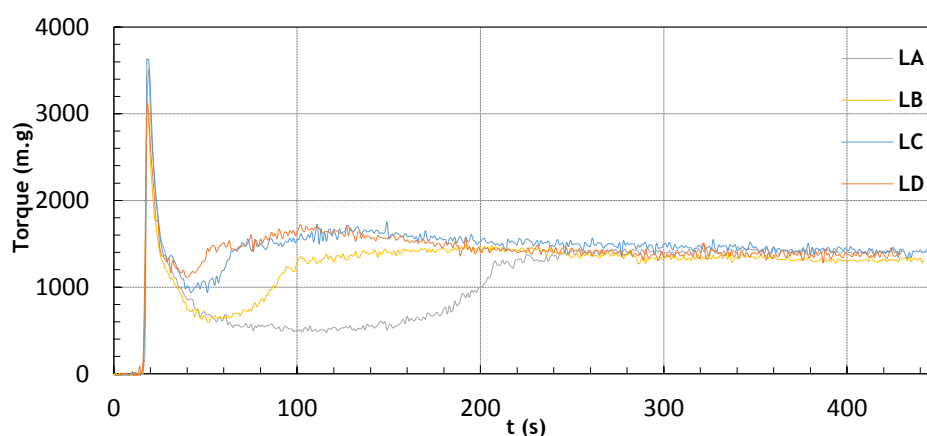
Importa por isso analisar o efeito da quantidade do aditivo 3 e do modificador 1.

O aditivo 3 é também um auxiliar de processamento, atuando ainda como lubrificante interno. Este é um aditivo acrílico com alto valor de peso molecular, composto por longas cadeias poliméricas, com alta compatibilidade com os grãos de PVC. Após a fusão, as longas cadeias poliméricas deste aditivo rodeiam as cadeias mais curtas do PVC, interligando-as e, desta forma, aumenta a elasticidade do fundido. Devido à sua

composição química, este aditivo contribui ainda para uma fusão mais rápida do composto (13). No entanto, isto não se verificou nos ensaios realizados, uma vez que as formulações de lisos (com maior quantidade deste aditivo) apresentam maiores tempos de fusão do que as respetivas formulações de impressos.

Pode-se então concluir que o efeito determinante para os menores tempos de fusão observados nas formulações de impressos é a maior quantidade de modificador 1. De facto, este contribui para uma fusão mais rápida do composto e melhora o escoamento da massa fundida (14). Então, dado que as formulações de impressos têm maior quantidade de modificador 1, estas apresentam menores tempos de fusão, comparativamente às respetivas formulações de lisos.

O modificador 1 apresenta temperatura de fusão, tipicamente, entre os 110 e os 130 °C, sendo esta temperatura inferior à temperatura de fusão do PVC (entre os 120 °C e os 190 °C); logo o modificador 1 funde primeiro e vai revestir os grãos de PVC. À medida que estes fundem irá formar-se uma segunda camada de fluido, originando duas fases, dado que estes são imiscíveis (14).



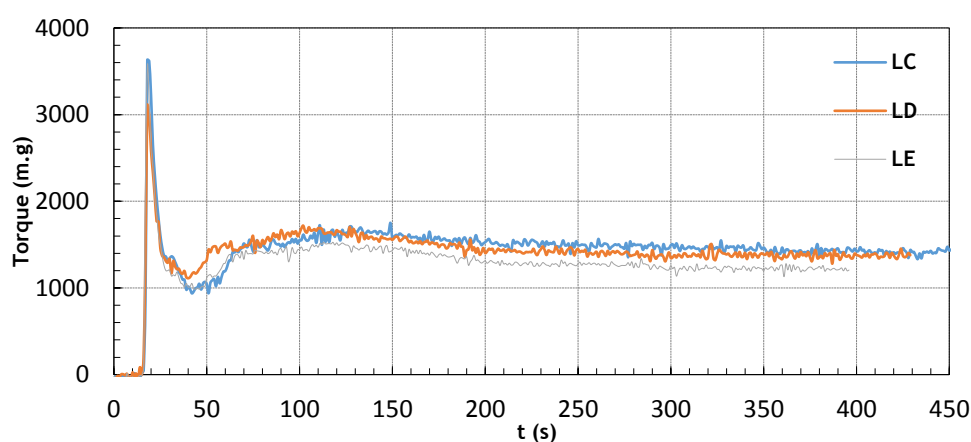
**Figura 20 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de liso com ambos os estabilizantes.**

Através do gráfico da Figura 20, é possível analisar o efeito da alteração do estabilizante das formulações de lisos. Conclui-se que as formulações com o estabilizante 2 (LC e LD) apresentam menores tempos de fusão, pelo que será correto afirmar que o estabilizante 1 promove uma fusão mais tardia do composto e, acredita-se que isto possa ser devido à maior quantidade de lubrificação, nomeadamente externa, no conjunto de aditivos que este próprio estabilizante é constituído, sendo que a sua composição é desconhecida.

Analisando o gráfico da Figura 21 é possível observar as curvas referentes às formulações de lisos com o estabilizante 2, onde se alterou a resina de PVC (LC, LD e LE). Seria de esperar que o tempo de fusão da formulação com a nova resina (LE) em estudo fosse menor. No entanto, o efeito do menor valor K desta resina só é perceptível na viscosidade

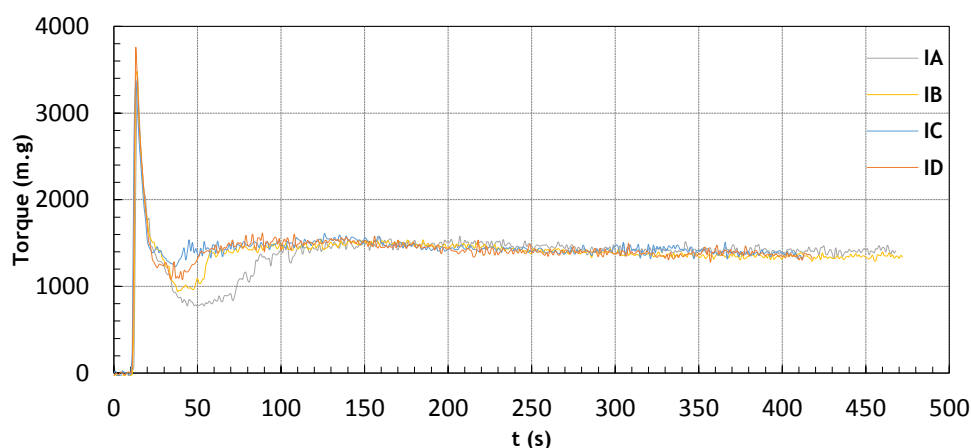
do composto fundido, em condições de equilíbrio. Isto verifica-se pelo menor valor do torque de equilíbrio da formulação LE relativamente às outras duas. Como referido anteriormente, o torque de equilíbrio é uma forma indireta de avaliar a viscosidade da massa fundida.

Em termos do tempo de fusão, a formulação com a mistura das duas resinas (50:50), LD, foi a que apresentou, no reómetro, menor tempo de fusão.



**Figura 21 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de liso com o estabilizante 2.**

Na Figura 22, encontram-se registadas as curvas das formulações de impressos, com a finalidade de avaliar o efeito da alteração de estabilizante. Aqui, é observado um comportamento semelhante ao das formulações de lisos (na Figura 19), isto é, as formulações com o estabilizante 1 (IA e IB) apresentam tempos de fusão superiores às formulações com o estabilizante 2 (IC e ID).

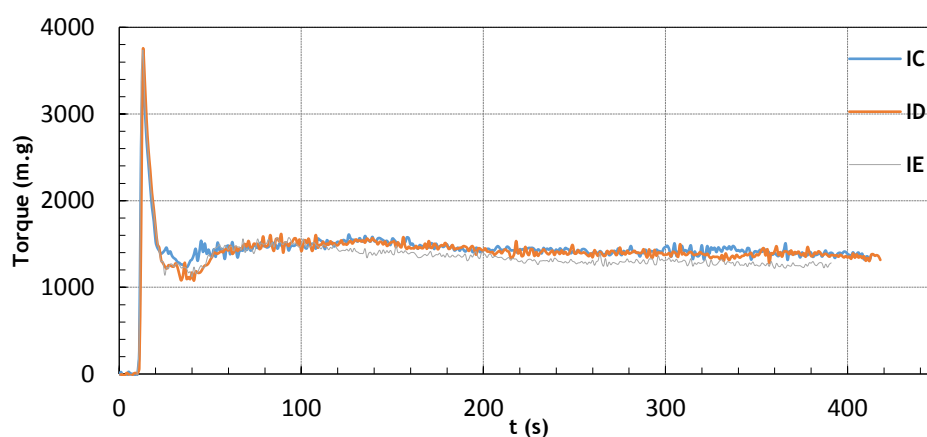


**Figura 22 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de impresso com ambos os estabilizantes.**

Na Figura 23 encontram-se representadas as curvas relativas às formulações de impressos com o estabilizante 2, com o intuito de analisar o efeito da alteração da resina de PVC. Pelo que se pode observar, não existem diferenças muito significativas nos tempos de fusão das diferentes formulações, nas condições de operação dos ensaios no reómetro. No

entanto, observa-se ainda que a formulação com a nova resina, IE, tende para um valor de torque de equilíbrio menor, comparativamente às outras duas formulações (tal como se verificou nos lisos).

Algo que se pôde observar nos gráficos anteriores é que com as formulações com a alteração da resina, com o estabilizante 2, se obtinha uma distância entre as curvas inferior às das formulações com o estabilizante 1. Este facto poderá ajudar a justificar o facto de, com estas condições, não se conseguir tirar conclusões com as curvas representadas no gráfico da Figura 23, uma vez que se encontram muito próximas.



*Figura 23 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de impresso com estabilizante 2.*

#### **4.1.2. Ensaios de Extrusão**

Nas tabelas 4 e 5 encontram-se registadas as massas do material extrudido, no período de 1 minuto para as formulações com os estabilizantes 1 e 2, respetivamente. Para cada formulação fez-se esta medição 3 vezes, com a média destas 3 medições obtém-se o débito útil da extrusora.

O operador no início dos ensaios calibra a máquina, com as formulações padrão, ajustando a distância entre o rolo do acabamento e os outros dois rolos na calandra, a velocidade da linha, através do sistema de puxo, e a abertura da fieira (sendo que esta tem uma largura de 900 mm) para que o material extrudido tenha uma largura de 825 mm e espessura 0,4 mm.

A linha de extrusão tem implementada um corta ourelas, isto é, o filme após passar na calandra e ao passar nos rolos de arrefecimento tem umas laminas dos dois lados que podem ser ajustadas e cortam as ourelas (bordas/margens) do material fazendo o acerto da largura para os 825 mm e a este valor dá-se o nome de largura útil pois esta é a largura do filme final, que antes de ser enrolado passa na secção de corte e divide a largura dos 825 mm em 3 filmes de 275 mm que serão finalmente enrolados em 3 rolos com as designações Lado 0,1 e 2. Este é o material que se pesa na contagem do minuto, pelo que não é contabilizado o material que foi separado no corta ourelas. Sendo assim, é

necessário estimar o débito total da extrusora, tendo em conta o material com a largura total original. Este valor é medido manualmente com uma fita métrica, antes da passagem pelo corta ourelas. Em seguida estima-se o débito total, conforme demonstrado na Equação (4.1) do Anexo 4. Estes valores podem também ser consultados nas tabelas 4 e 5. Apesar de o operador ter acesso a um monitor que tem a indicação da espessura que está a ser medida em linha, este é um parâmetro difícil de controlar, pelo que o material ao longo da sua extensão apresenta variações do valor da espessura, isto é não se consegue ter o material extrudido com a espessura exata de 0,40 mm. No entanto existe uma tolerância para o valor da espessura medido que o operador tem de estar atento, sendo este  $\pm 0,05$  mm. Caso esta especificação não seja cumprida, há um alerta e o operador terá de fazer o acerto da espessura. Pode atuar de várias maneiras: diminuindo ou aumentando a distância dos rolos na calandra, uma vez que aqui o material é “calcado” com o rolo superior da calandra; ou através do sistema de puxo, provocando o “estiramento” do material ou ainda pode ser necessário ajustar a abertura da fieira, apertando os seus parafusos.

Uma vez que o material apresenta variações de espessura em toda a sua extensão é necessário estimar a espessura média do material com base num dado interno da empresa. Este dado de referência diz que 1 m<sup>2</sup> de material de PVC, com espessura 0,4 mm pesa 600 g. Cortaram-se 10 provetes, de forma rigorosa, com dimensão de 100 mm por 275 mm ao longo do comprimento da extrusão (com 1 metro de distância entre cada) e de seguida foram pesados. Calcula-se a massa média correspondente à área de um provete com esta dimensão. Em seguida com os dados de referência estimam-se os valores da espessura média que se encontram nas tabelas 4 e 5. No Anexo 4 é explicado com mais detalhe como se estimou este parâmetro.



**Tabela 4 - Registo dos valores para o cálculo do débito da extrusora com o estabilizante 1.**

		Débito Útil (sem ourelas)				Débito Total (com ourelas)		
Formulação	Ensaio	kg/min	kg/h	Débito Útil (kg/h)	Largura Útil (mm)	Largura Total (mm)	Débito Total (kg/h)	Espessura Média (mm)
LA	1	7,314	439	436	825	853	451	0,42
	2	7,245	435					
	3	7,234	434					
LB	1	7,186	431	434		865	455	0,42
	2	7,236	434					
	3	7,292	438					
IA	1	7,287	437	434		863	453	0,40
	2	7,187	431					
	3	7,201	432					
IB	1	7,171	430	431	867	453	0,40	
	2	7,159	430					
	3	7,212	433					

**Tabela 5 - Registo dos valores para o cálculo do débito da extrusora com o estabilizante 2.**

		Débito Útil (sem ourelas)				Débito Total (com ourelas)		
Formulação	Ensaio	kg/min	kg/h	Débito Útil (kg/h)	Largura Útil (mm)	Largura Total (mm)	Débito Total (kg/h)	Espessura Média (mm)
LC	1	7,124	427	425	825	860	443	0,41
	2	7,034	422					
	3	7,076	425					
LD	1	7,300	438	438		860	457	0,42
	2	7,239	434					
	3	7,363	442					
LE	1	6,698	402	400		876	425	0,40
	2	6,738	404					
	3	6,563	394					
IC	1	7,143	429	428		850	441	0,40
	2	7,152	429					
	3	7,118	427					
ID	1	6,938	416	417		854	432	0,38
	2	6,972	418					
	3	6,942	417					
IE	1	6,660	400	400		876	425	0,39
	2	6,602	396					
	3	6,749	405					

Analisando os valores do débito total, das tabelas anteriores, constata-se que não houve alteração significativa e os menores valores observados devem-se ao facto de se ter uma espessura média menor também, no entanto esta variação está dentro dos limites de tolerância pelo que numa produção normal o material seria comercializado.

É necessário avaliar estes resultados conjuntamente com os dados dos parâmetros de operação da extrusora (consultar tabelas 17 e 18 do Anexo 3) uma vez que estes são consequência das condições de processamento. Nas tabelas 17 e 18 do Anexo 3 encontram-se registados não só os parâmetros de operação da extrusora, mas também uma descrição mais detalhada destes.

Decidiu-se manter constantes, em todos os ensaios realizados, as condições de operação da extrusora, nomeadamente o seu perfil de temperaturas e velocidade de rotação dos fusos.

Nessas tabelas observa-se que as formulações com a resina de referência (LA, IA, LC e IC) apresentam valores de binário mais elevados, o que significa que há um maior esforço (maior consumo de energia) para o transporte da sua massa fundida, o que pode ser explicado pelo seu maior valor de viscosidade, comparativamente às formulações com a resina B (LE e IE).

Uma vez que se obtêm valores de binário menores com as formulações LE e IE, poderia aumentar-se a velocidade de rotação dos fusos e desta forma diminuir o tempo de residência na extrusora, aumentando assim o débito de acordo com o objetivo proposto. No entanto, tal não foi possível pois este é um parâmetro que já se encontra otimizado e não é permitida a sua alteração.

Durante os ensaios deparou-se com uma limitação, uma vez que não se conseguiu manter as mesmas condições de alimentação dos compostos à extrusora, influenciando de forma direta o seu débito. Nas formulações contendo a resina B na sua composição, verificou-se a acumulação do composto entre a tremonha de alimentação e a câmara, pelo que foi necessária a intervenção do operador no sentido de diminuição da quantidade de composto alimentada.

O caudal de alimentação é definido/ajustado tendo em conta que a situação de operação ideal é ter os fusos completamente cheios com o composto a processar; o excesso da quantidade deste composto na zona de alimentação leva a complicações, nomeadamente a formação de aglomerados causando a obstrução nesta zona.

Ao longo da câmara o material plastifica, homogeneiza e é comprimido progressivamente através da ação dos fusos e do calor. A plastificação é avaliada abrindo o orifício do vácuo, sendo possível visualizar o material já plastificado, isto é, encontra-se numa zona da câmara onde o composto já fundiu.

O grau de plastificação é avaliado numa escala de 1 a 5, sendo que no 1 o composto ainda se encontra na forma de pó, e no 5 é plastificação excessiva. O valor ótimo é 4, correspondendo a uma boa plastificação, isto é, uma boa homogeneização de todos os componentes da mistura na massa fundida, apresentando a aparência de uma pasta homogênea, isenta de pó, preenchendo os canais do fuso e não deverá estar compacta.

As formulações LA, LB, LC, LD, IA, IB, IC e ID foram classificadas com o valor 4.

As formulações LE e IE apresentaram uma plastificação quase que excessiva (classificadas com 4+). Este é um fator indicativo de que a resina estará a fundir mais cedo comparativamente às formulações com a resina de referência, como previam os ensaios de reologia. Uma maneira de contornar este fator é através da diminuição da temperatura das duas primeiras zonas da câmara ou reduzindo a temperatura do fluido de arrefecimento dos fusos e desta forma diminui-se o consumo energético.

O inconveniente da excessiva plastificação é que o sistema de vácuo não será suficiente para extrair os gases (resultado da humidade) e estes ficam retidos no seio da massa fundida o que irá provocar defeitos no material extrudido. Por outro lado, uma má plastificação poderá levar a que exista ainda material sob a forma de pó, que irá ser sugado pelo sistema de vácuo, havendo por isso perda de matéria prima.

Outra conclusão que se retira da análise das tabelas 4 e 5 é que nas formulações com a resina B houve um aumento nos valores de largura total. Este é um indicativo de que a massa fundida estaria a ocupar um maior volume na fieira. No entanto, como nos ensaios com estas formulações se diminuiu o caudal de alimentação, o valor de débito total é menor e, apesar de se ter conseguido obter o produto extrudido com maior largura, não foi possível aumentar o débito total da extrusora, com estas condições de operação.

## **4.2. Aumento da Resistência ao Impacto**

Após a extrusão do material resultante das formulações com os quatro novos modificadores, de acordo com as composições descritas na Tabela 2, este foi sujeito ao teste do impacto. O material extrudido com as formulações padrão de liso e impresso também foram sujeitos a este ensaio para comparação e avaliação. Apenas foi sujeito ao ensaio de impacto as formulações padrão com o estabilizante 2 (LC e IC), uma vez que foi este o estabilizante usado nas formulações com os modificadores de impacto em estudo.

Analisando as tabelas 6, 7 e 8, observa-se de uma maneira geral, que o lado 1 (que corresponde ao lado do meio) possui valores de espessura média dos provetes, de altura mínima e máxima, relativamente maiores que os lados 0 e 2; logo pode-se concluir que o lado 1 possui uma maior resistência ao impacto. O facto de o material ser mais frágil nas laterais deve-se a um conjunto de fatores. Um é a resistência ao fluxo do material, provocada pelo atrito com as paredes laterais da fieira, provocando uma menor velocidade

da massa fundida. Consequentemente, o material nessa zona fica mais tempo sujeito a altas temperaturas, o que o fragiliza devido à degradação térmica.

Na Figura 24 pode-se observar o contramolde do material presente na fieira, mostrando a sua geometria interna. Devido a esta não uniformidade do fluxo do material fundido, o material resultante apresenta menor resistência ao impacto.



*Figura 24 - Material com a geometria da fieira.*

Outros fatores são, como descrito anteriormente, o calcamento dos rolos da calandra (maior ou menor), bem como o estiramento do filme provocado pela maior ou menor velocidade do sistema de puxo para o acerto da espessura pretendida. O estiramento da fieira pode ir até cerca de 10 % da largura do filme e os lados laterais sofrem mais a ação deste estiramento, pelo que estes ficam mais fragilizados também.

De seguida serão analisados os resultados com mais detalhe, consoante o tipo de formulação:

– **Formulação Liso**

Na Tabela 6 encontra-se o resultado do ensaio de impacto dos materiais com a designação de Liso. Analisando os resultados obtidos com os provetes resultantes das formulações com os modificadores de impacto em teste observa-se que, com os modificadores 2 e 5 registaram-se valores de altura mínima ligeiramente superiores quando comparados com a formulação padrão e os restantes modificadores. Verifica-se ainda que estes valores se mantêm constantes nos 3 lados, exceto com o modificador 2 que no Lado 2 apresenta um valor ligeiramente inferior. Uma vez que as formulações com os modificadores contêm o estabilizante 2, só é correto comparar o efeito que a alteração do modificador causou com esta formulação padrão. Apesar de se ter verificado o aumento das alturas mínimas, não se considerou que este aumento fosse satisfatório e optou-se pela realização de novos ensaios com o aumento da quantidade de modificador de impacto.

Apesar de se verificar alguma variação da espessura média dos provetes de cada formulação, esta não é significativa para ter influência nos resultados obtidos (o mesmo se verifica nas bases e nos impressos).

**Tabela 6 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, para o material Liso.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
LC com o Modificador 1	0,42	70	100	0,42	80	110	0,42	70	100
LC com o Modificador 2	0,43	100	110	0,44	100	110	0,43	80	110
LC com o Modificador 3	0,42	80	100	0,44	90	110	0,43	90	100
LC com o Modificador 4	0,43	70	110	0,45	90	110	0,44	80	110
LC com o Modificador 5	0,43	90	110	0,43	90	110	0,43	90	110

**Tabela 7 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, para o material Base.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
IC com o Modificador 1	0,41	100	120	0,41	110	130	0,4	100	120
IC com o Modificador 2	0,43	120	140	0,45	120	140	0,41	90	130
IC com o Modificador 3	0,42	100	120	0,44	110	140	0,42	100	120
IC com o Modificador 4	0,42	110	130	0,42	100	130	0,40	90	140
IC com o Modificador 5	0,44	100	120	0,44	100	140	0,43	100	140

**Tabela 8 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, para o material Impresso.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura Média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
IC com o Modificador 1	0,41	50	80	0,42	60	80	0,42	50	80
IC com o Modificador 2	0,44	60	80	0,45	60	80	0,41	60	80
IC com o Modificador 3	0,43	50	80	0,44	50	80	0,42	50	80
IC com o Modificador 4	0,42	50	80	0,43	50	80	0,41	50	80
IC com o Modificador 5	0,43	60	80	0,44	60	80	0,43	50	80

– **Formulação Impresso, antes do processo de impressão**

Na Tabela 7 encontra-se o resultado do ensaio de impacto dos materiais com a designação de Base. Comparando os resultados obtidos com a formulação padrão (IC com o modificador 1) e com as formulações contendo os novos modificadores conclui-se que estas últimas permitiram obter intervalos de altura superiores. No entanto, é necessário avaliar a performance destes, após o processo de impressão, uma vez que este não é o produto final. Repare-se que os valores observados são superiores aos que se obtiveram com a formulação de lisos e isto deve-se à maior quantidade de modificador nas formulações de impressos.

– **Formulação Impresso, após impressão**

O material extrudido após o processo de impressão, é também sujeito ao ensaio de impacto e os resultados podem ser consultados na Tabela 8. Os valores de altura mínima e máxima diminuem drasticamente com todas as formulações. Isto é devido à utilização das chamadas tintas UV. Após a passagem por cada torre de impressão o material é exposto a uma lâmpada que emite radiação UV. Esta provoca modificações permanentes na estrutura físico-química do polímero. Tais modificações podem resultar na reticulação ou rompimento das ligações na cadeia.

Observa-se que os novos modificadores em teste apresentam um desempenho bastante semelhante ao modificador 1, apesar de os modificadores 2 e 5 terem sido os aditivos que mais se destacaram, pela positiva. O modificador 2 apresentou valores de altura mínima, nos 3 lados, 10 cm superiores aos restantes modificadores, o que é um indicativo de uma boa distribuição deste modificador no produto extrudido. Com o modificador 5 também se obteve o valor de 60 cm de altura mínima nos Lados 0 e 1.

Face à análise das tabelas 6,7 e 8, verificou-se o aumento das alturas mínimas a que os provetes partem, no entanto não se considerou que este aumento fosse satisfatório, pois em alguns casos os valores ficaram abaixo da especificação de altura mínima definida na Tabela 3 (principalmente no material Impresso) e optou-se pela realização de novos ensaios com o aumento do teor de modificador de impacto.

Face aos resultados anteriores, optou-se por repetir os ensaios com maior quantidade de modificador de impacto com os modificadores 1,2 e 5, mantendo constantes todos os outros componentes da formulação de Liso (LC) e Impresso (IC).

Nas formulações de Liso aumentou-se a quantidade de modificador de impacto de 5,3 para 8,0 pcr e nas formulações de Impresso de 8,8 para 13,3 pcr. O aumento da quantidade de modificador implica um maior custo do produto final, no entanto, como se pode observar pelos valores das tabelas 9,10 e 11 houve uma melhoria significativa nos valores das alturas mínimas a que os provetes partiram.

**Tabela 9 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, do material Liso.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
8,0 pcr Modificador 1	0,40	90	110	0,40	100	120	0,38	90	110
8,0 pcr Modificador 2	0,45	90	130	0,45	100	130	0,41	100	130
8,0 pcr Modificador 5	0,44	110	130	0,43	110	130	0,41	80	120

**Tabela 10 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, do material Base.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
13,3 pcr Modificador 1	0,42	120	140	0,43	140	160	0,4	120	140
13 pcr Modificador 2	0,45	120	140	0,46	130	140	0,42	110	120
13 pcr Modificador 5	0,45	100	140	0,44	110	160	0,42	110	120

**Tabela 11 - Registo dos valores das alturas mínima e máxima a que os provetes partiram no ensaio de impacto, do material Impresso.**

Formulação	Lado 0			Lado 1			Lado 2		
	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Espessura média (mm)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)
13,3 pcr Modificador 1	0,42	80	100	0,44	90	110	0,42	80	100
13,3 pcr Modificador 2	0,46	80	90	0,46	70	100	0,43	70	80
13,3 pcr Modificador 5	0,45	70	90	0,44	70	100	0,42	70	80

#### – Formulação Liso com 8,0 pcr

Pela análise dos valores da Tabela 9, verifica-se que o Lado 2 apresentou menores valores de espessura média dos provetes e alturas, comparativamente aos lados 0 e 1 das respetivas formulações. A abertura da fieira poderia estar mais “apertada” nesse lado e, combinado com o efeito do estiramento, pode causar uma diminuição da espessura.

Com o aumento da concentração de modificador de impacto, houve o cumprimento da especificação requerida (altura mínima para os provetes partirem ser > 90 cm), com exceção do Lado 2 da formulação com 8,0 pcr modificador 5, mas isto pode ser explicado pelo motivo enunciado anteriormente. No entanto com os modificadores 1 e 2 também se obtiveram resultados que se considera serem satisfatórios.

– **Formulação Impresso com 13,3 pcr, antes do processo de impressão**

Os resultados registados na Tabela 10 dizem respeito aos provetes do material com a designação Base. Comparando com os valores da Tabela 9, constata-se que estes são superiores o que é explicado pela maior quantidade de modificador de impacto. No entanto, para concluir qual o melhor modificador de impacto nas formulações de Impresso é necessário avaliar o comportamento após o processo de impressão.

– **Formulação Impresso com 13,3 pcr, após impressão**

Após o processo de impressão os valores de altura mínima e máxima diminuem como se pode observar comparando os dados da Tabela 11 com os da Tabela 10. No entanto os valores são superiores aos da Tabela 8 (com apenas 8,8 pcr de modificador de impacto), pelo que se conclui que aumentando a quantidade deste aditivo se consegue aumentar o valor de altura mínima a que os provetes partem após o processo de impressão, como seria de esperar.

Na Tabela 12 encontra-se registado o aumento de alturas mínima e máxima, face às formulações padrão (LC e IC com o modificador 1), que se obteve como aumento da quantidade de modificador de impacto nas formulações de liso e impresso, uma vez que todos eles proporcionaram uma maior resistência ao impacto. Como se verifica pelos valores da tabela, o modificador de impacto que apresentou melhor desempenho nas formulações de impresso, após o processo de impressão foi o modificador 1 que cumpriu a especificação de altura mínima requerida (> 80 cm). Nas formulações de lisos, todos os modificadores testados cumpriram a especificação mínima requerida (> 90 cm).

*Tabela 12 - Melhoria da Resistência ao Impacto.*

	Liso			Impresso		
	Modificador 1	Modificador 2	Modificador 5	Modificador 1	Modificador 2	Modificador 5
<b>Altura Mínima (cm)</b>	80 → 100	80 → 100	80 → 110	60 → 90	60 → 70	60 → 70
<b>Altura Máxima (cm)</b>	110 → 120	110 → 130	110 → 130	80 → 110	80 → 100	80 → 100

Face a estes resultados, realizaram-se os restantes ensaios previstos para validação do produto, com o propósito de avaliar se a alteração de modificador de impacto provoca variações em algumas das propriedades que o produto final deverá exibir. No Anexo 6 encontra-se os resultados destes ensaios, bem como a sua discussão mais detalhada.

Como se pode constatar pelos resultados descritos no Anexo 6, a alteração da quantidade de modificador de impacto, bem como da sua natureza química não provoca alterações nas restantes características físicas do produto.



## **5. Conclusões**

### **5.1. Aumento do Débito da Extrusora**

Neste trabalho foram realizados ensaios de reologia rotacional e produções numa extrusora de duplo fuso cônico industrial.

Dos ensaios de reologia concluiu-se que as formulações contendo a nova resina (B) em estudo, de menor valor K, apresentam menor viscosidade da massa fundida e por isso, previa-se conseguir ter uma maior velocidade de escoamento destas na extrusora, reduzindo assim o tempo de residência na mesma e, consequentemente aumentar o seu débito.

Os ensaios industriais foram realizados tendo em conta as condições de operação normais de produção, sendo que os compostos são alimentados na extrusora gravimetricamente e esta encontra-se a trabalhar no máximo da sua capacidade (rotações) para o processamento deste tipo de formulações.

No decorrer dos ensaios industriais, ainda que a extrusora se encontre a trabalhar no máximo da sua capacidade, houve necessidade de diminuir o caudal de alimentação das formulações contendo a nova resina, uma vez que se verificou a acumulação do composto no canal de alimentação (devido à sua maior densidade aparente).

Este fator representa por isso uma limitação para a avaliação do débito de produto extrudido. Para melhor avaliação do potencial aumento de débito da extrusora com as formulações contendo a nova resina, dever-se-ia recorrer a alimentação forçada em alternativa à alimentação gravimétrica, para garantir igualdade na alimentação entre as formulações padrão e as de ensaio.

### **5.2. Aumento da Resistência ao Impacto**

Para o aumento da resistência ao impacto testaram-se 4 modificadores alternativos ao padrão (modificador 1).

Pela análise dos valores das alturas obtidas com o material após o processo de impressão, com os valores do material antes da impressão (Base), verificou-se a interferência destrutiva que este processo tem nas características físicas e mecânicas do material, nomeadamente na sua resistência ao impacto.

Nas orlas após o processo de impressão não houve aumento dos valores de alturas mínima e máxima com os modificadores em teste, pelo que se concluiu ser necessário aumentar a incorporação deste aditivo.

No material Liso, apesar de se ter verificado alguma melhoria considerou-se não ser significativa, decidindo-se aumentar a sua % de aplicação nas formulações, pelo que foram selecionados os modificadores 1 (padrão), 2 e 5, uma vez que estes apresentaram melhor

desempenho face a solicitações de impacto. O aumento deste aditivo foi de cerca de 50 % em ambas as formulações de Liso e Impresso.

Os resultados do ensaio de impacto do material Liso com o aumento da quantidade de modificador de impacto permitem concluir que o modificador 5 revelou uma performance considerada excelente, relativamente aos restantes, uma vez que se conseguiu um aumento de altura mínima de 38 % relativamente à fórmula padrão (LC).

Nos resultados do ensaio de impacto do material base e impresso com o aumento de quantidade de modificador de impacto, constatou-se uma vez mais que o processo de impressão fragiliza o material devido à exposição à radiação UV após aplicação da tinta. No entanto, observou-se uma melhoria substancial em termos de resistência ao impacto. A Probos fica assim com 3 alternativas para a melhoria da resistência ao impacto da gama de produtos ProClassic Liso e Impresso, cabendo à organização avaliar os custos associados a estes resultados.

Com a melhoria significativa da resistência ao impacto obtida com este trabalho, a organização oferecerá aos seus clientes um produto de excelência relativamente a esta propriedade, e consequentemente a satisfação dos mesmos, sendo este um dos valores da missão da Probos.

## **6. Avaliação do trabalho realizado**

### **6.1. Objetivos Realizados**

Este projeto teve como objetivos: a otimização da resistência ao impacto da gama de produtos “ProClassic” Liso e Impresso em PVC e o aumento do débito numa das linhas de extrusão da empresa.

Relativamente ao objetivo do aumento da resistência ao impacto este foi atingido com sucesso.

Face às condições de operação da extrusora usadas, não se conseguiu aumentar o débito da mesma, uma vez que esta se encontra a trabalhar no máximo da sua capacidade.

### **6.2. Limitações e Trabalho Futuro**

Relativamente aos ensaios realizados para o aumento do débito da extrusora deparou-se com a limitação de não se conseguir manter constante a quantidade de matéria prima alimentada à extrusora, uma vez que as formulações contendo a resina B causaram obstrução na zona entre a tremonha de alimentação e a câmara através da acumulação de composto. Como consequência, foi necessário diminuir a sua quantidade.

Uma forma de aumentar a quantidade de composto alimentado à extrusora é através de alimentação forçada, isto é, um sistema com um fuso que através do seu movimento de rotação consiga manter constante a capacidade de composto alimentado, deixando de ser a ação de gravidade o único fator responsável por este fenómeno.

Como proposta de trabalho no futuro será repetir os ensaios das formulações, usando alimentação forçada, garantindo a mesma quantidade de composto alimentado à extrusora e assim avaliar qual a formulação que permite obter mais kg/h de produto extrudido.

### **6.4. Apreciação Final**

A realização da dissertação em contexto 100 % industrial foi uma oportunidade bastante enriquecedora. O contacto com o ambiente industrial permitiu a aquisição de conhecimentos técnicos que ao longo do curso não foram adquiridos, apesar de terem sido abordados de forma superficial.

Apesar de um dos objetivos não ter sido atingido, houve a consciencialização de que em ambiente industrial não é possível controlar todos os parâmetros ao pormenor, pois podem surgir imprevistos. Muitas vezes ao tentar-se otimizar um processo ou produto, surgem outras complicações e essas devem ser encaradas como novas oportunidades para a melhoria contínua.

## 7. Referências







1. Wypych, George. *PVC Degradation and Stabilization*. Toronto. ChemTec Publishing, 2015. ISBN: 978-1-895198-85-0.
2. Carvalhais, João Carlos Marques. *Estudo do comportamento de absorção de resinas de PVC com diferentes plastificantes*. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.
3. Antonio Rodolfo Jr., Luciano R. Nunes, Wagner Ormanji. *Tecnologia do PVC*. São Paulo. Braskem, 2006. ISBN: 85-7165-014-4.
4. Marques, Rogério P. e Covas, José A. *Características de Processamento de compostos de PVC-U*. Companhia Industrial de Resinas Sintética, CIREs, S.A., Estarreja, 2002.
5. Alves, Juliana P.D. e Jr., Antonio Rodolfo. Análise do processo de Grelificação de Resinas e Compostos de PVC Suspensão. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2, 2006, Vol. 16, pp. 165-173.
6. Ingo F., Wilhelm F. S, Hans-Christoph P, M. W. Allsopp., Giovanni V. Poly(Vinyl Chloride). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley- VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014.
7. About PVC. *VinylPlus Committed to sustainable development*. [Consultado em 3 de março de 2017]. <http://www.vinylplus.eu/progress/about-pvc>.
8. Study: global PVC demand to grow 3.2% annually through 2021. *Plastics today*. [Consultado em: 11 de março de 2017.] <https://www.plasticstoday.com/content/study-global-pvc-demand-grow-32-annually-through-2021/17670326321043>.
9. Rainer Wolf, Bansi Lal Kaul. Plastics, Additives. *Ullmann's Encyclopedia os Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley- VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
10. Canedo, E.L. e Alves, T.S. Processamento de Polímeros no Misturador Interno de Laboratório. Workshop CFD/UFCG, Campina Grande, 2015.
11. Omacini, A. e Gatta, G. *Resin Morphology makes the difference in the extrusion of rigid PVC*. Porto Marghera, Venice, Italy. Montecatini Edison S.p.A., 1972.
12. Aditivo 2, Brochura Informativa- Additives for Vinyl. Rohm and Haas.
13. Aditivo 3, Brochura Informativa - *Additives for Vinyl*. Rohm and Haas.
14. Wypych, George. *PVC Formulary*. Toronto. ChemTec Publishing, 2014. ISBN:978-1-895198-84-3.







## Anexo 1 - Gama de produtos Proadec

A gama atual de produtos Proadec inclui onze famílias de orlas que foram sendo desenvolvidas como resposta às novas necessidades de acabamento dos painéis utilizados em ilhargas, frentes ou portas de móveis de linhas direitas.

A designação das orlas divide-se em orla fina e orla grossa. A **orla fina** apresenta espessuras entre os 0,40 e os 1,20 mm e largas entre os 14 e os 800 mm. Aderem solidamente ao substrato, indispensáveis para rematar de forma harmoniosa todo o tipo de móveis. Disponível em cores lisas, imitações de madeira e desenhos decorativos, com vários tipos de acabamentos de superfície. A **orla grossa** apresenta espessuras que variam entre 1,30 e os 5 mm e largas entre os 14 e os 400 mm. São imprescindíveis para o acabamento perfeito, resistente e duradouro de todo o tipo de móveis. A sua elevada resistência faz com que estas sejam ideais para aplicações de mobiliário escolar, escritório, hospitalar e comercial.

*Tabela 13 - Gama de Produtos.*

ProClassic	ProGloss	ProHigloss
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapta-se a todo tipo de aplicações.</li> <li>• Disponível em orla fina.</li> <li>• Disponível em PVC, ABS e PP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São orlas com elevado grau de brilho.</li> <li>• Apresenta uma superfície resistente e de fácil manutenção.</li> <li>• Disponível em orla fina.</li> <li>• Disponível em orlas de PVC e ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É uma gama <i>premium</i> de orlas de alto brilho.</li> <li>• Levam várias camadas de laca, apresentando uma superfície super suave de efeito espelho.</li> <li>• Disponível em orla fina e grossa.</li> <li>• Disponível em PVC e ABS.</li> </ul>
ProFlex	ProThick	ProMatt
		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapta-se a todo o tipo de aplicações, mesmo em painéis curvos, permitindo um acabamento perfeito.</li> <li>• Disponível em orla fina.</li> <li>• Disponível em PVC, ABS e PP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta excelente resistência ao impacto, permitindo um acabamento perfeito.</li> <li>• Disponível em orla grossa.</li> <li>• Disponível em PVC, ABS e PP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acabamento ultra mate, isto é, possui uma superfície acetinada, altamente resistente às dedadas e com total ausência de brilho.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>
<p><b>ProFoil</b></p> 	<p><b>ProAlu</b></p> 	<p><b>ProWood</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• São orlas de base ABS, sobre a qual é aplicado um efeito metálico (transferência de partículas metálicas).</li> <li>• Disponível em orla fina.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação de uma folha metálica de alumínio.</li> <li>• Altamente resistente a agentes químicos.</li> <li>• Disponível em orla fina.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imitação da madeira, uma vez que apresenta o efeito de miolo em toda a sua espessura.</li> <li>• Disponível em orla grossa.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>
<p><b>ProDual</b></p> 	<p><b>Nervure</b></p> 	<p><b>ProDuo</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É uma orla bicolor, que confere aos móveis um acabamento de qualidade superior, realçando a superfície do painel.</li> <li>• Disponível em orla grossa.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orla com duplo sulco, com efeito decorativo.</li> <li>• Excelente resistência ao impacto, permitindo um acabamento perfeito.</li> <li>• Disponível em ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altamente resistente, com duas decorações paralelas, apresentando um contraste.</li> <li>• Disponível em PMMA, mais conhecido por acrílico.</li> </ul>

## **Anexo 2 - Registo dos parâmetros monitorizados no processo de mistura**

O processo de mistura dos componentes de todas as formulações em estudo decorreu sem grandes perturbações dos parâmetros medidos com o termo-higrómetro e o cronómetro. Estes valores encontram-se registados nas tabelas seguintes.

Verificou-se que em todas as misturas realizadas foi atingida a temperatura dos 100 °C, aquando do seu término e descarga para o arrefecedor. Os valores medidos são considerados aceitáveis, havendo alguma tolerância face ao modo como esta é medida. O teor de humidade medido no fim do processo de mistura é um fator importante, uma vez que se este for demasiado elevado irá fazer com que aja problemas aquando da plastificação do composto na extrusora. No entanto, os valores observados da humidade não apresentam problemas uma vez esta será posteriormente removida pelo sistema de vácuo na câmara da extrusora.

Estes parâmetros permitem verificar se as condições operatórias a que as misturas das diferentes formulações são feitas se mantiveram constantes, não apresentando por isso influência nos resultados obtidos. Havendo algum destes parâmetros que se desvie daquilo que é espectável poderá ser um indicador de alguma diferença ou anomalia algures numa das etapas do processo.

Relativamente ao tempo que demorou a ser feita cada mistura, pode-se concluir que as misturas que foram feitas em primeiro (com o misturador “a frio”) são as que demoram mais tempo. Isto observa-se pois quando terminada uma mistura, o misturador teve de atingir 100 °C e o seu arrefecimento não é imediato. Assim quando se inicia uma segunda mistura, o misturador está a uma temperatura mais elevada do que estava quando iniciou a primeira mistura, pelo que levará menos tempo a atingir novamente os 100 °C.

Na Tabela 14 encontram-se os parâmetros das formulações para os ensaios do aumento do débito da extrusora. Na Tabela 15 estão registados os parâmetros das formulações em estudo para o aumento da resistência ao impacto, com as quantidades usadas nas fórmulas padrão (5,3 pcr nos lisos e 8,8 pcr nos impressos) e na Tabela 16 os parâmetros das formulações onde se aumentou a quantidade de modificador de impacto (8,0 pcr nos lisos e 13,3 pcr nos impressos).

**Tabela 14 - Registos dos parâmetros monitorizados das misturas das formulações ensaiadas para o aumento de débito.**

Formulação	Nº da Mistura	T (°C)	Tempo (min)	% Rh	Formulação	Nº da Mistura	T (°C)	Tempo (min)	% Rh
LA	1	105,1	07:56	26,1	IA	1	99,2	05:49	20,4
	2	101,9	05:54	24,5		2	99,8	05:42	22,5
	3	99,6	04:44	26,9		3	100,8	04:48	20,1
LB	1	99,6	07:03	24,9	IB	1	99,4	06:55	18,8
	2	99,2	05:46	22,4		2	99,1	06:13	21,0
	3	98,4	05:05	22,5		3	99,6	06:03	20,5
LC	1	99,9	07:10	19,0	IC	1	99,5	06:56	18,0
	2	97,3	05:46	22,0		2	99,5	05:15	18,9
	3	98,4	05:36	21,0		3	99,6	05:05	18,9
LD	1	99,2	06:40	20,0	ID	1	99,5	06:00	18,0
	2	97,7	05:19	21,0		2	99,8	05:25	18,2
	3	99,0	05:55	23,0		3	97,3	05:18	20,2
LE	1	101,1	05:49	20,4	IE	1	99,8	05:58	16,6
	2	102,3	05:37	21,2		2	99,7	05:48	17,2
	3	101,4	05:33	19,9		3	100,1	05:44	15,7

**Tabela 15- Registo dos parâmetros monitorizados das misturas com as formulações em estudo para o aumento da resistência ao impacto.**

Formulação		Nº da Mistura	T (°C)	Tempo (min)	% Rh
LC	Modificador 2	1	100,4	08:10	18,2
		2	104,8	06:34	17,3
	Modificador 3	1	98,7	05:40	19,4
		2	99,9	06:29	17,9
	Modificador 4	1	98,9	06:32	19,8
		2	100,4	06:43	18,3
	Modificador 5	1	98,8	06:05	18,9
		2	99,8	06:30	17,5
IC	Modificador 2	1	99,4	05:53	19,4
		2	101,3	05:20	18,9
	Modificador 3	1	98,1	05:50	19,4
		2	98,7	05:42	18,9
	Modificador 4	1	99,7	06:34	19,8
		2	98,0	05:28	18,0
	Modificador 5	1	100,0	06:40	20,2
		2	98,9	06:03	19,5



**Tabela 16 - Registo dos parâmetros monitorizados das misturas com aumento do teor de modificador de impacto.**

Formulação		Nº de Mistura	T (°C)	Tempo (min)	% Rh
Liso	8,0 pcr Modificador 2	1	100,5	05:51	31,9
		2	100,1	05:17	30,8
	8,0 pcr Modificador 1	1	98,9	05:20	26,6
		2	99,5	05:10	27,6
	8,0 pcr Modificador 5	1	99,5	05:26	24,8
		2	98,9	05:50	24,7
Impresso	13,3 pcr Modificador 2	1	98,8	06:24	28,4
		2	97,3	05:12	27,3
	13,3 pcr Modificador 1	1	101,0	07:06	23,6
		2	99,0	05:28	26,6
	13,3 pcr Modificador 5	1	99,7	05:10	30,2
		2	99,4	05:26	28,4

Comparando os dados da Tabela 16 com os da Tabela 15, verifica-se que com o aumento da quantidade de modificador de impacto nas formulações o teor de humidade aumentou, no entanto não se verificaram anomalias no processo de extrusão, pelo que o sistema de vácuo foi suficiente para a sua remoção.

## **Anexo 3 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo do processo de extrusão.**

Nas tabelas seguintes encontram-se registados os parâmetros monitorizados aquando do processo de extrusão.

O controlo do processo de extrusão é feito através de um painel que inclui informação e capacidade de controlo sobre o estado atual e os valores pré estabelecidos de vários parâmetros que vão sendo monitorizados ao longo da extrusora. Este controlo é feito de forma automática e inclui o débito da extrusora (kg/h), binário (rpm), velocidade de extrusão (rpm) e os controladores de temperatura (°C).

Nas Tabelas 17 e 18, encontram-se registados os valores das condições da extrusora do painel de controlo no momento das contagens de 1 minuto para estimativa do débito com as formulações contendo os estabilizantes 1 e 2, respetivamente. Nestas, observa-se o perfil de temperaturas da câmara de extrusão, nomeadamente as temperaturas dos fusos, das 4 zonas da câmara, do adaptador (peça que faz a ligação entre a câmara de extrusão e a fieira) e da fieira. Relativamente ao perfil de temperaturas este não variou de forma significativa, uma vez que não houve a intenção de se alterarem estas condições aquando das mudanças das formulações em teste. As temperaturas do fluido de arrefecimento que circula no interior dos fusos foram cerca de 130 - 140 °C; nas zonas da câmara estas encontram-se num intervalo entre 159 - 175 °C. A temperatura do adaptador é de 150 °C e da fieira 185 °C. A temperatura da fieira é a mais elevada, para garantir que um maior fluxo da massa fundida.

A velocidade de rotação dos fusos é constante em todos os ensaios, uma vez que este é o valor máximo que os fusos alcançam.

São apresentados os valores mínimos e máximos do binário do motor da extrusora que provoca a rotação dos fusos e, permite avaliar a facilidade com que o composto é processado.

Os valores do caudal de alimentação são os que o operador introduz ao programar a dosagem do composto, sendo que cerca de 1 % desse valor diz respeito à quantidade de pigmento líquido e 5 % desse valor é a quantidade de pigmento sólido micronizado branco. É importante referir que antes de se proceder aos ensaios industriais com as formulações em teste, fez-se o arranque da máquina com a fórmula padrão e assim estabilizar a máquina com as condições referidas já anteriormente. Assim sendo os desvios dos valores com as formulações que se testaram foram causados pelo próprio composto em teste, com exceção do caudal de alimentação, pois nas formulações em que se verificou um caudal inferior a cerca de 390 kg/h foi necessária a intervenção do operador no sentido de

diminuição da quantidade de composto alimentada, uma vez que houve acumulação do composto entre a tremonha de alimentação e a câmara.

Nessas tabelas encontram-se ainda registados os valores da velocidade do sistema de puxo e dos 3 rolos da calandra que são responsáveis por “puxar” o material da extrusora, isto é do estiramento. Estes valores mantiveram-se praticamente constantes em todos os ensaios, uma vez que era pretendido manter as condições do processo constantes. Estes valores são ajustados pelo operador com vista ao acerto da espessura e largura pretendidas.

A temperatura dos calandretes (são os rolos que se seguem ao longo da restante linha de extrusão) registada, 75 °C, serve para o arrefecimento do filme ao ser transportado ao longo da linha para posterior enrolamento.

Na Tabela 19 encontram-se os parâmetros da extrusora das formulações com os diferentes modificadores de impacto testados.

Na Tabela 20 encontram-se os parâmetros de operação da extrusora dos ensaios referentes às formulações com maior quantidade de modificador de impacto.

**Tabela 17 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo da extrusão das formulações com o estabilizante 1.**

Ensaio	Formulação	Temperatura (°C)							Extrusora				Plastificação	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade rolo meio da calandra (m/min)	Velocidade rolo inferior da calandra (m/min)	Velocidade do sistema de puxo (m/min)	T rolo superior (°C)	T rolo meio (°C)	T rolo inferior (°C)	Calandretes (°C)
		Fusos	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Adaptador	Fieira	Velocidade dos Fusos (rpm)	Binário (A)		Caudal de alimentação (kg/h)									
										Min	Max										
1	LA	131	163	169	170	173	154	185	2091	86,2	86,4	401	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
2		137	166	171	172	174	155	185	2091	85,5	85,7	393	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
3		138	163	170	170	176	156	185	2091	86,7	86,9	393	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
1	LB	139	165	165	167	172	150	185	2091	81,8	82,2	401	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
2		138	159	165	165	172	150	185	2091	82,9	83,4	393	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
3		138	159	166	164	172	151	185	2091	82,0	82,6	393	4	13,7	13,5	13,2	13,9	60	62	60	75
1	IA	136	160	165	166	175	150	185	2091	86,4	86,8	394	4	14,2	14,0	13,7	14,4	60	61	63	75
2		139	161	165	165	175	150	185	2091	85,9	86,2	394	4	14,2	14,0	13,7	14,4	60	61	63	75
3		140	160	165	165	178	150	185	2091	87,0	87,3	384	4	14,2	14,0	13,7	14,4	60	61	63	75
1	IB	139	159	165	166	175	150	185	2091	82,2	82,4	394	4	14,3	14,1	13,8	14,5	60	61	63	75
2		139	159	165	165	173	150	185	2091	82,9	83,1	394	4	14,3	14,1	13,8	14,5	60	61	63	75
3		137	160	165	165	172	150	185	2091	82,1	82,6	394	4	14,3	14,1	13,8	14,5	60	61	63	75

**Tabela 18 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo da extrusão das formulações com o estabilizante 2.**

Ensaio	Formulação	Temperatura (°C)							Extrusora				Plastificação	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade rolo meio da calandra (m/min)	Velocidade rolo inferior da calandra (m/min)	Velocidade do sistema de puxo (m/min)	T rolo superior (°C)	Trolo meio (°C)	T rolo inferior (°C)	Calandretes (°C)
		Fusos	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Adapt	Fieira	Rotação dos fusos (rpm)	Binário (A)		Caudal de alimentação (kg/h)									
										Min	Max										
1	LC	135	163	164	160	169	150	185	2091	86,1	86,5	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
2		136	165	165	160	175	150	185	2091	84,1	84,1	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
3		138	166	165	160	174	150	185	2091	83,6	84,0	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
1	LD	131	163	164	160	172	150	185	2091	84,8	85,2	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
2		133	165	165	160	171	150	185	2091	84,2	84,6	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
3		134	165	165	160	170	150	185	2091	84,9	85,3	402	4	14,9	13,7	12,4	13,8	70	60	60	75
1	LE	135	175	172	170	165	150	185	2091	71,5	72,0	377	4+	14,2	12,8	12,2	13,1	60	65	60	75
2		131	176	173	171	166	150	185	2091	72,5	73,0	377	4+	14,2	12,8	12,2	13,1	60	65	60	75
3		133	174	167	171	165	150	185	2091	72,1	72,5	377	4+	14,2	12,8	12,2	13,1	60	65	60	75
1	IC	131	175	170	170	168	151	185	2091	84,3	84,6	402	4	14,9	14,6	13,4	14,5	70	60	60	75
2		132	176	170	171	169	150	185	2091	83,8	84,2	402	4	14,8	14,5	13,3	14,3	60	60	60	75
3		133	176	171	171	169	150	185	2091	81,9	82,2	402	4	14,8	14,5	13,3	14,3	60	60	60	75
1	ID	132	176	171	171	165	150	185	2091	78,7	78,9	382	4	14,8	14,5	13,3	14,3	60	60	60	75
2		133	176	170	171	165	150	185	2091	78,6	79,0	382	4	14,8	14,5	13,3	14,3	60	60	60	75
3		134	174	171	170	166	150	185	2091	79,7	80,1	382	4	14,8	14,5	13,3	14,3	60	60	60	75
1	IE	135	174	171	169	165	150	185	2091	73,8	74,3	377	4+	14,4	13,0	12,4	13,3	60	65	60	75
2		136	175	171	170	166	150	185	2091	73,7	74,0	377	4+	14,4	13,0	12,4	13,3	60	65	60	75
3		136	173	168	170	165	150	185	2091	73,9	74,6	377	4+	14,4	13,0	12,4	13,3	60	65	60	75

Tabela 19 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo da extrusão das formulações com os novos modificadores de impacto.

Ensaio	Formulação	Temperatura (°C)							Extrusora				Plastificação	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade do sistema de puxo (m/min)	T rolo superior (°C)	T rolo meio (°C)	T rolo inerior (°C)	Calandretes (°C)	Largura Total (mm)	Espessura média (mm)
		Fusos	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Adaptador	Fieira	Velocidade dos Fusos (rpm)	Binário		Caudal de alimentação (kg/h)											
										Min	Max												
1	Estabilização das condições da extrusora	130	169	171	169	172	156	185	201	77,8	78,4	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	851	0,41
1	Liso 5,3 pcr modificador 2	130	171	172	171	168	154	185	2091	88	89	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,41
2		132	171	170	170	169	155	185	2091	86	86		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
3		132	170	170	171	168	155	185	2091	87	87		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
1	Liso 5,3 pcr modificador 3	133	170	170	170	169	156	185	2091	83	83	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,41
2		133	169	171	170	168	155	185	2091	84	85		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
3		132	170	171	171	168	154	185	2091	82	83		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
1	Liso 5,3 pcr modificador 4	132	171	170	171	169	156	185	2091	85	85	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	865	0,41
2		133	171	169	171	168	155	185	2091	84	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
3		133	169	171	171	169	155	185	2091	84	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
1	Liso 5,3 pcr modificador 5	133	170	171	170	169	155	185	2091	82	83	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,41
2		133	171	169	170	169	156	185	2091	84	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
3		133	171	171	172	170	155	185	2091	84	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
1	Impresso 8,8 pcr Modificador 2	132	170	170	170	170	155	185	2091	85	85	391	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	862	0,39
2		133	170	171	170	170	155	185	2091	85	86		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
3		133	170	168	171	169	155	185	2091	86	87		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
1	Impresso 8,8 pcr Modificador 3	133	170	172	171	169	155	185	2091	82	83	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,40
2		133	169	170	170	167	155	185	2091	83	83		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
3		132	171	172	171	168	155	185	2091	83	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
1	Impresso 8,8 pcr Modificador 4	133	169	170	169	169	155	185	2091	87	89	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,41
2		133	170	170	170	169	155	185	2091	85	85		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,40
3		132	169	170	170	169	155	185	2091	84	84		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
1	Impresso 8,8 pcr Modificador 5	133	170	170	169	169	155	185	2091	86	87	401	4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75	860	0,41
2		134	170	170	170	169	155	185	2091	86	87		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41
3		133	169	169	170	170	155	185	2091	86	88		4	13,3	13,1	9,7	13,3	60	65	60	75		0,41

**Tabela 20 - Registo dos parâmetros monitorizados ao longo da extrusão das formulações com o aumento da concentração de modificador de impacto.**

Ensaio	Formulação	Temperatura (°C)							Extrusora				Plastificação	Velocidade rolo superior da calandra (m/min)	Velocidade rolo meio da calandra (m/min)	Velocidade rolo inferior da calandra (m/min)	Velocidade do sistema de puxo (m/min)	T rolo superior (°C)	T rolo meio (°C)	T rolo inerior (°C)	Calandretes (°C)	Largura Total (mm)	espessura média (mm)
		Fusos	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Adaptador	Fieira	Velocidade dos Fusos (rpm)	Binário		Caudal de alimentação (kg/h)											
										Min	Max												
1	Estabilização das condições da extrusora	130	171	167	169	168	155	185	2091	70	71	392	4	13,1	12,7	11,1	12,8	60	60	60	75	853	0,40
1	Liso 8,0 pcr modificador 1	136	169	168	170	168	155	185	2091	76	76	392	4	13,4	12,8	11,2	13,2	60	60	60	75	860	0,41
2		130	171	171	171	166	155	185	2091	83	84		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,40
3		132	170	169	171	167	155	185	2091	80	81		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,41
1	Liso 8,0 pcr modificador 2	133	171	169	171	168	156	185	2091	82	83	392	5	12,8	12,2	10,7	12,6	60	60	60	75	865	0,41
2		134	170	170	169	167	155	185	2091	82	83		5	12,8	12,2	10,7	12,6	60	60	60	75		0,41
3		133	169	169	169	167	155	185	2091	82	83		5	12,8	12,2	10,7	12,6	60	60	60	75		0,41
1	Liso 8,0 pcr modificador 5	132	169	172	170	169	155	185	2091	83	84	392	4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75	860	0,41
2		133	171	171	169	168	155	185	2091	81	82		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,41
3		133	171	171	170	168	156	185	2091	80	81		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,41
1	Impresso 13,3 pcr Modificador 1	130	171	171	171	166	155	185	2091	83	84	392	4	13,1	12,7	11,1	13,0	60	60	60	75	862	0,39
2		134	171	171	171	168	155	185	2091	80	81		4	13,4	13,1	11,4	13,5	60	60	60	75		0,40
3		134	171	171	170	168	155	185	2091	81	83		4	13,4	13,1	11,4	13,5	60	60	60	75		0,40
1	Impresso 13,3pcr Modificador 2	135	170	166	170	171	154	185	2091	85	86	392	5	12,7	12,2	10,6	12,5	60	60	60	75	860	0,40
2		134	170	169	171	170	155	185	2091	84	85		5	12,7	12,2	10,6	12,5	60	60	60	75		0,40
3		134	171	172	169	169	155	185	2091	86	87		5	12,7	12,2	10,6	12,5	60	60	60	75		0,40
1	Impresso 13,3pcr Modificador 5	132	170	168	171	169	155	185	2091	85	86	392	4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75	860	0,41
2		136	169	170	169	169	155	185	2091	86	87		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,40
3		136	170	171	170	169	155	185	2091	84	85		4	13,2	12,6	11,0	13,0	60	60	60	75		0,41

## Anexo 3 - Ensaios de Reologia

Os ensaios de reologia foram realizados na Cires, Lda.

No gráfico seguinte encontram-se as curvas realizadas com diferentes condições, a fim de se avaliar quais as melhores condições de ensaio que permitam obter uma curva mais “satisfatória” para se poder tirar conclusões.

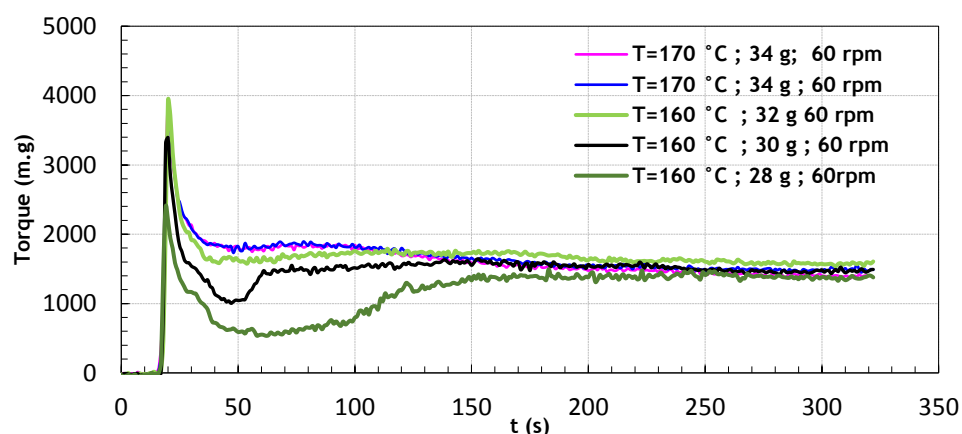


Figura 25 -Ensaios com a formulação de LA, a várias condições.

Face às curvas obtidas estabeleceram-se as condições  $T=160\text{ }^{\circ}\text{C}$  e 60 rpm. Quanto à quantidade de amostra definiram-se 3 massas (30 g, 29 g, 28 g) para avaliar a reprodutibilidade dos resultados, isto é se se verifica o mesmo tipo de comportamento exibido pelas curvas.

O gráfico correspondente aos ensaios com a massa de 29 g encontra-se na Figura 19.

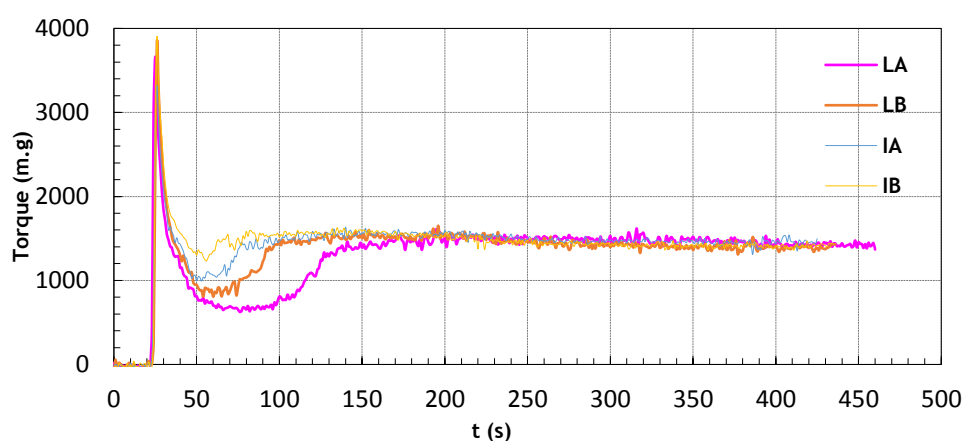
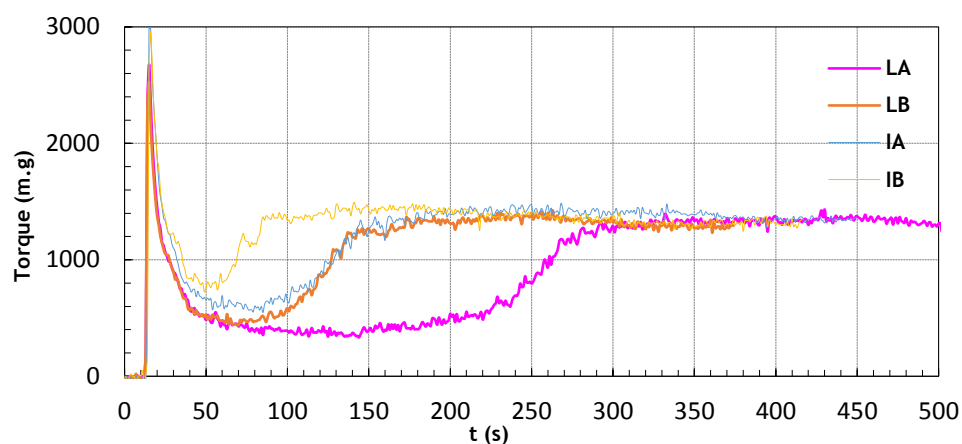


Figura 26 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de Liso e Impresso (30g).





**Figura 27 - Gráfico comparativo dos tempos de fusão para formulações de Liso e Impresso (28g).**

Pela análise dos gráficos das figuras anteriores verifica-se que quanto menor a massa da amostra, é mais visível a distância entre as curvas das diferentes formulações e, consequentemente a diferença entre os tempos de fusão.

Para as formulações com o estabilizante 2, fixou-se a massa de 29g e os ensaios foram todos realizados com esta quantidade de amostra.

## Anexo 4 - Cálculos Auxiliares para a determinação do Débito Total e Espessura Média

### – Débito Total

Para estimar o Débito Total aplica-se uma regra de três simples com os valores das larguras útil e total e do débito útil, isto é:

$$\text{Débito Total} = \frac{\text{Débito Útil} \times \text{Largura Total}}{\text{Largura Útil}} \quad (4.1)$$

Exemplo de cálculo para a formulação LC:

$$\text{Débito Total} = \frac{425 \times 860}{825} = 443 \text{ kg/h}$$

### – Espessura Média

Para estimar as espessuras médias cortaram-se, de forma rigorosa, para cada formulação 10 provetes com área de 0,0275 m<sup>2</sup>. De seguida foram pesados e os valores estão registados nas tabelas seguintes para cada formulação.

Dado de referência: 1m<sup>2</sup> de orlas de PVC com espessura 0,4 mm pesa 600 g.

De seguida, com o valor da massa média (dos 3 lados) calcula-se a massa que 1 m<sup>2</sup> deste material terá, usando o dado de referência, isto é:

$$\text{Massa de 1 m}^2 = \frac{\text{Massa média}}{\text{Área}} \quad (4.2)$$

Usando novamente o dado de referência estima-se, finalmente a espessura:

$$\text{espessura média} = \frac{\text{Massa média}}{600 \text{ g}} \times 0,4 \text{ mm} \quad (4.3)$$

**Tabela 21 - Registo dos valores para estimar a espessura média das formulações com o estabilizante 1.**

	LA			LB			IA			IB		
	massa (g)			massa (g)			massa (g)			massa (g)		
Provetes	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2
1	17,7	17,5	17,2	17,6	17,6	17,3	16,5	17	16,2	16,4	16,8	16,2
2	16,9	17,6	17,2	17,4	17,8	17,2	16,5	17,2	16,2	16,5	16,8	16,0
3	17,1	17,6	17,0	17	17,6	16,8	16,6	16,8	16,3	16,8	16,7	16,3
4	17,6	17,5	17,0	16,9	17,6	16,9	16,5	17,0	16,5	16,4	17,1	16,1
5	17,5	17,5	17,1	17,3	17,5	16,8	16,7	16,7	16,3	16,8	16,8	16,2
6	17,0	17,5	17,2	17,8	17,7	16,9	16,5	16,8	16,1	16,6	16,7	16,3
7	17,0	17,6	17,1	17,1	17,7	16,6	16,6	16,9	16,4	16,4	16,8	16,2
8	17,4	17,5	17,0	17,0	17,5	17,1	16,6	16,8	16,4	16,6	16,7	16,2
9	17,7	17,4	17,2	17,6	17,6	16,8	16,9	17,0	16,3	16,3	16,9	16,3
10	17,2	17,5	16,9	17,3	17,5	16,7	16,5	16,9	16,3	16,3	17,0	16,1
Massa Média	17,3	17,5	17,1	17,3	17,6	16,9	16,6	16,9	16,3	16,5	16,8	16,2
Desvio Padrão	0,29	0,06	0,10	0,29	0,09	0,21	0,12	0,14	0,11	0,18	0,13	0,09
Massa média Total	17,3			17,3			16,6			16,5		
Massa de 1m <sup>2</sup>	629			628			604			600		
Espessura média (mm)	0,42			0,42			0,40			0,40		

**Tabela 22 - Registo dos valores para estimar a espessura média das formulações de Liso com o estabilizante 2.**

	LC			LD			LE		
	massa (g)			massa (g)			massa (g)		
Provetes	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2
1	17,4	16,8	17,1	17,5	17,4	17,6	16,5	16,8	16,7
2	16,9	17,2	17,1	17,5	17,5	17,6	16,3	16,9	16,6
3	17,4	17,2	17,1	17,3	17,4	17,4	16,8	17,0	16,5
4	17,4	16,8	17,2	17,5	18	17,6	16,6	16,9	16,8
5	16,8	17,1	17,2	17,4	17,6	17,2	16,6	16,8	16,5
6	17,2	16,9	17,1	17,4	17,7	17,2	16,9	16,9	17,1
7	17,4	16,9	17,1	17,5	17,6	17,5	16,7	16,6	17,0
8	16,9	17,1	17,1	17,3	17,6	17,8	16,8	16,9	17,1
9	16,8	17,0	17,2	17,4	17,4	17,6	16,6	16,8	16,7
10	16,8	16,9	16,9	17,3	17,5	17,3	16,3	16,8	16,8
Massa Média	17,1	17,0	17,1	17,4	17,6	17,5	16,6	16,8	16,8
Desvio Padrão	0,27	0,14	0,08	0,08	0,17	0,19	0,19	0,10	0,21
Massa média Total	17,1			17,5			16,7		
Massa de 1m <sup>2</sup>	621			636			609		
Espessura média(mm)	0,41			0,42			0,41		

**Tabela 23 - Registo dos valores para estimar a espessura média com as formulações de Impresso com o estabilizante 2.**

	IC			ID			IE		
	massa (g)			massa (g)			massa (g)		
Provetes	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2	LADO 0	LADO 1	LADO 2
1	16,7	16,4	15,7	15,4	15,8	15,2	16,2	16,3	16,2
2	16,5	16,7	15,9	15,3	15,6	15,3	16,2	16,4	16,0
3	16,4	16,7	16,0	15,8	15,8	15,7	16,2	16,4	16,2
4	16,6	16,6	16,1	15,4	15,7	15,3	16,0	16,2	16,1
5	16,5	16,5	15,8	15,2	15,8	15,2	16,3	16,4	16,4
6	16,4	16,6	16,2	15,2	16,0	15,4	16,0	16,5	16,3
7	16,2	16,4	16,2	15,1	15,8	15,0	16,3	16,4	16,2
8	16,3	16,2	16,1	15,6	15,9	15,4	16,2	16,5	16,1
9	16,5	16,5	15,9	15,2	15,8	15,4	16,2	16,5	16,3
10	16,7	16,6	16,1	15,1	15,7	15,4	16,1	16,2	16,4
Massa Média	16,5	16,5	16,0	15,3	15,8	15,3	16,2	16,4	16,2
Desvio Padrão	0,15	0,15	0,16	0,21	0,10	0,17	0,10	0,11	0,12
Massa média Total	16,3			15,5			16,3		
Massa de 1m <sup>2</sup>	594			563			591		
Espessura (mm)	0,40			0,38			0,39		

## Anexo 5 - Ensaio de Impacto

Nas tabelas seguintes estão os resultados dos ensaios de impacto das formulações padrão e das formulações com os modificadores de impacto. As zonas 1 e 2 são do lado 0, as zonas 3 e 4 ao lado 1 e as zonas 5 e 6 correspondem às zonas ao longo da largura no lado 2. De seguida, para cada zona, são numerados 8 provetes ao longo do comprimento do rolo, isto é, da extrusão.

### – Fórmula Padrão: LC

*Tabela 24 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras LC.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	S	50	N	60	N	70	N	80	S	70	N	80	N
2	90	N	110	N	100	S	90	S	80	N	90	S	80	N	90	N
3	90	S	70	N	80	S	70	N	80	N	90	N	100	N	110	S
4	90	S	70	N	80	S	70	N	80	N	90	S	80	N	90	N
5	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	N	100	S	90	N
6	90	S	70	S	50	N	60	N	70	N	80	S	70	N	80	S

*Tabela 25 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 24.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,41	2.1	0,43	3.1	0,42	4.1	0,43	5.1	0,43	6.1	0,43
1.2	0,42	2.2	0,43	3.2	0,43	4.2	0,43	5.2	0,42	6.2	0,43
1.3	0,41	2.3	0,42	3.3	0,43	4.3	0,42	5.3	0,43	6.3	0,43
1.4	0,43	2.4	0,42	3.4	0,42	4.4	0,42	5.4	0,42	6.4	0,42
1.5	0,43	2.5	0,43	3.5	0,43	4.5	0,42	5.5	0,43	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,43	3.6	0,42	4.6	0,42	5.6	0,42	6.6	0,42
1.7	0,42	2.7	0,43	3.7	0,42	4.7	0,42	5.7	0,42	6.7	0,42
1.8	0,42	2.8	0,42	3.8	0,41	4.8	0,43	5.8	0,42	6.8	0,42
Média	0,42	Média	0,43	Média	0,42	Média	0,42	Média	0,42	Média	0,42

*Tabela 26 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras IC (Base).*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	S	80	N	90	N	100	S	90	N	100	S	90	N	100	S
2	100	S	80	N	90	N	100	N	110	S	100	N	110	N	120	S
3	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	S	110	N	120	S
4	100	N	120	S	110	N	120	N	130	S	120	S	110	S	100	S
5	100	N	120	S	110	N	120	S	110	N	120	N	110	N	120	S
6	100	N	120	S	110	S	100	S	90	N	100	S	90	N	100	S

*Tabela 27 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 26.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,39	2.1	0,41	3.1	0,41	4.1	0,41	5.1	0,41	6.1	0,41
1.2	0,41	2.2	0,42	3.2	0,42	4.2	0,41	5.2	0,4	6.2	0,40
1.3	0,40	2.3	0,42	3.3	0,40	4.3	0,41	5.3	0,41	6.3	0,43
1.4	0,41	2.4	0,42	3.4	0,40	4.4	0,40	5.4	0,40	6.4	0,40
1.5	0,41	2.5	0,41	3.5	0,41	4.5	0,43	5.5	0,40	6.5	0,40
1.6	0,42	2.6	0,41	3.6	0,41	4.6	0,42	5.6	0,40	6.6	0,41
1.7	0,42	2.7	0,41	3.7	0,41	4.7	0,42	5.7	0,39	6.7	0,39
1.8	0,41	2.8	0,41	3.8	0,40	4.8	0,41	5.8	0,41	6.8	0,39
Média	0,41	Média	0,41	Média	0,41	Média	0,41	Média	0,40	Média	0,40

*Tabela 28 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras IC (Impresso).*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	70	S	60	S	50	S
2	80	S	60	N	70	S	60	N	70	S	60	N	70	N	80	S
3	80	S	60	N	70	N	80	S	70	N	80	S	70	S	60	N
4	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	70	N	80	S	70	N
5	80	S	60	N	70	N	80	S	70	S	60	S	50	N	60	N
6	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	S	40	N	50	N

*Tabela 29 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 28.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,42	3.1	0,41	4.1	0,41	5.1	0,41	6.1	0,42
1.2	0,43	2.2	0,43	3.2	0,42	4.2	0,43	5.2	0,42	6.2	0,41
1.3	0,42	2.3	0,42	3.3	0,41	4.3	0,42	5.3	0,41	6.3	0,42
1.4	0,41	2.4	0,42	3.4	0,41	4.4	0,43	5.4	0,41	6.4	0,42
1.5	0,40	2.5	0,40	3.5	0,42	4.5	0,42	5.5	0,41	6.5	0,41
1.6	0,40	2.6	0,41	3.6	0,42	4.6	0,42	5.6	0,41	6.6	0,40
1.7	0,40	2.7	0,41	3.7	0,42	4.7	0,42	5.7	0,41	6.7	0,41
1.8	0,40	2.8	0,41	3.8	0,42	4.8	0,41	5.8	0,41	6.8	0,41
Média	0,41	Média	0,42	Média	0,42	Média	0,42	Média	0,41	Média	0,41

– Com o Modificador 2

*Tabela 30 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 5,3 pcr Modificador 2.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S	100	S	90	N
2	90	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S	100	N	110	N
3	90	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	N
4	90	N	110	S	100	N	110	S	100	N	110	S	100	N	110	S
5	90	N	110	S	100	S	90	N	100	S	90	N	100	N	110	S
6	90	S	70	N	80	N	90	S	80	S	70	N	80	S	70	N

*Tabela 31 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 30.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,44	3.1	0,44	4.1	0,43	5.1	0,44	6.1	0,43
1.2	0,43	2.2	0,44	3.2	0,45	4.2	0,44	5.2	0,44	6.2	0,42
1.3	0,43	2.3	0,45	3.3	0,44	4.3	0,45	5.3	0,44	6.3	0,42
1.4	0,43	2.4	0,44	3.4	0,44	4.4	0,44	5.4	0,43	6.4	0,42
1.5	0,44	2.5	0,44	3.5	0,45	4.5	0,45	5.5	0,43	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,44	3.6	0,45	4.6	0,44	5.6	0,43	6.6	0,43
1.7	0,42	2.7	0,44	3.7	0,45	4.7	0,45	5.7	0,43	6.7	0,42
1.8	0,43	2.8	0,44	3.8	0,45	4.8	0,44	5.8	0,44	6.8	0,42
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42



**Tabela 32 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 8,8 pcr Modificador 2.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	S	110	N	120	S	110	N	120	N	130	S	120	S
2	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	N	120	S	110	N
3	100	N	120	S	110	N	120	N	130	N	140	S	130	S	120	S
4	100	N	120	N	140	S	130	S	120	N	130	S	120	S	110	N
5	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	N	130	S	120	S
6	100	S	80	N	90	S	80	N	90	S	80	N	90	N	100	N

**Tabela 33 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 32.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,44	3.1	0,45	4.1	0,43	5.1	0,42	6.1	0,40
1.2	0,43	2.2	0,44	3.2	0,45	4.2	0,43	5.2	0,42	6.2	0,41
1.3	0,43	2.3	0,44	3.3	0,44	4.3	0,43	5.3	0,42	6.3	0,40
1.4	0,42	2.4	0,44	3.4	0,43	4.4	0,43	5.4	0,41	6.4	0,40
1.5	0,42	2.5	0,43	3.5	0,45	4.5	0,44	5.5	0,42	6.5	0,40
1.6	0,43	2.6	0,43	3.6	0,45	4.6	0,42	5.6	0,42	6.6	0,40
1.7	0,43	2.7	0,43	3.7	0,45	4.7	0,43	5.7	0,41	6.7	0,41
1.8	0,42	2.8	0,43	3.8	0,44	4.8	0,42	5.8	0,42	6.8	0,40
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,43	Média	0,42	Média	0,40

**Tabela 34 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 8,8 pcr Modificador 2.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N
2	80	S	60	N	70	S	60	S	50	N	60	N	70	S	60	S
3	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	70	N	80	S	70	S
4	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	50	N	60	S	50	N
5	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N
6	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N

**Tabela 35 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 34.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,44	3.1	0,45	4.1	0,44	5.1	0,41	6.1	0,40
1.2	0,43	2.2	0,44	3.2	0,45	4.2	0,42	5.2	0,42	6.2	0,40
1.3	0,44	2.3	0,44	3.3	0,45	4.3	0,43	5.3	0,42	6.3	0,40
1.4	0,45	2.4	0,44	3.4	0,44	4.4	0,42	5.4	0,41	6.4	0,40
1.5	0,44	2.5	0,44	3.5	0,44	4.5	0,43	5.5	0,42	6.5	0,40
1.6	0,42	2.6	0,44	3.6	0,44	4.6	0,42	5.6	0,42	6.6	0,40
1.7	0,43	2.7	0,44	3.7	0,45	4.7	0,42	5.7	0,41	6.7	0,41
1.8	0,42	2.8	0,43	3.8	0,44	4.8	0,42	5.8	0,42	6.8	0,40
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,43	Média	0,42	Média	0,40

– Com o Modificador 3

*Tabela 36 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 5,3 pcr Modificador 3.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	N	80	N	90	S	80	S	70	N	80	N	90	N
2	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S	80	N	90	S
3	90	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S
4	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	N	100	N	110	S
5	90	S	70	N	80	N	90	S	80	N	90	S	80	S	70	S
6	90	S	70	N	80	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S

*Tabela 37 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 36.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,42	3.1	0,44	4.1	0,44	5.1	0,45	6.1	0,43
1.2	0,42	2.2	0,43	3.2	0,44	4.2	0,44	5.2	0,44	6.2	0,43
1.3	0,43	2.3	0,43	3.3	0,44	4.3	0,45	5.3	0,43	6.3	0,42
1.4	0,42	2.4	0,43	3.4	0,44	4.4	0,44	5.4	0,44	6.4	0,42
1.5	0,43	2.5	0,42	3.5	0,44	4.5	0,44	5.5	0,44	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,42	3.6	0,44	4.6	0,44	5.6	0,43	6.6	0,43
1.7	0,42	2.7	0,42	3.7	0,44	4.7	0,44	5.7	0,43	6.7	0,42
1.8	0,42	2.8	0,42	3.8	0,44	4.8	0,44	5.8	0,43	6.8	0,42
Média	0,42	Média	0,42	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42

**Tabela 38 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 8,8 pcr Modificador 3.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	S	110	N	120	S	110	S	100	S	90	N	100	N
2	100	N	120	S	110	S	100	S	90	N	100	N	110	N	120	S
3	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	N	130	N	140	S
4	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	N	120	S	110	S
5	100	N	120	S	110	S	100	S	90	N	100	S	90	N	100	N
6	100	N	120	S	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S	100	N

**Tabela 39 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 38.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,42	3.1	0,44	4.1	0,44	5.1	0,43	6.1	0,41
1.2	0,42	2.2	0,42	3.2	0,43	4.2	0,43	5.2	0,43	6.2	0,42
1.3	0,42	2.3	0,43	3.3	0,44	4.3	0,43	5.3	0,43	6.3	0,42
1.4	0,41	2.4	0,42	3.4	0,44	4.4	0,43	5.4	0,42	6.4	0,40
1.5	0,42	2.5	0,43	3.5	0,44	4.5	0,44	5.5	0,43	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,43	3.6	0,44	4.6	0,42	5.6	0,43	6.6	0,41
1.7	0,41	2.7	0,43	3.7	0,44	4.7	0,43	5.7	0,43	6.7	0,41
1.8	0,42	2.8	0,43	3.8	0,44	4.8	0,44	5.8	0,42	6.8	0,41
Média	0,42	Média	0,43	Média	0,44	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,41

**Tabela 40 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 8,8 pcr Modificador 3.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	50	S	40	N	50	N
2	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N
3	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N
4	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	50	S	40	N	50	N
5	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	70	S	60	S	50	N
6	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	50	S	40	N	50	S

**Tabela 41 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 40.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,44	3.1	0,45	4.1	0,44	5.1	0,43	6.1	0,42
1.2	0,43	2.2	0,43	3.2	0,45	4.2	0,44	5.2	0,42	6.2	0,43
1.3	0,43	2.3	0,44	3.3	0,45	4.3	0,43	5.3	0,44	6.3	0,42
1.4	0,43	2.4	0,44	3.4	0,45	4.4	0,43	5.4	0,43	6.4	0,42
1.5	0,43	2.5	0,44	3.5	0,43	4.5	0,43	5.5	0,43	6.5	0,41
1.6	0,44	2.6	0,44	3.6	0,44	4.6	0,43	5.6	0,42	6.6	0,41
1.7	0,43	2.7	0,43	3.7	0,44	4.7	0,43	5.7	0,43	6.7	0,41
1.8	0,43	2.8	0,42	3.8	0,44	4.8	0,43	5.8	0,43	6.8	0,42
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,42

– Com o Modificador 4

*Tabela 42 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 5,3 pcr Modificador 4.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	S	50	N	60	N	70	N	80	N	90	S	80	N
2	90	N	110	S	100	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N
3	90	N	110	S	100	S	90	N	100	S	90	S	80	N	90	N
4	90	N	110	S	100	N	110	N	100	S	110	S	100	N	110	S
5	90	N	110	S	100	S	90	S	80	S	70	N	80	N	90	N
6	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S	80	S	70	N

*Tabela 43 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 42.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,43	3.1	0,44	4.1	0,44	5.1	0,44	6.1	0,42
1.2	0,43	2.2	0,43	3.2	0,44	4.2	0,45	5.2	0,44	6.2	0,43
1.3	0,43	2.3	0,44	3.3	0,45	4.3	0,45	5.3	0,44	6.3	0,44
1.4	0,43	2.4	0,44	3.4	0,45	4.4	0,45	5.4	0,45	6.4	0,43
1.5	0,43	2.5	0,44	3.5	0,45	4.5	0,44	5.5	0,44	6.5	0,43
1.6	0,42	2.6	0,44	3.6	0,45	4.6	0,44	5.6	0,44	6.6	0,44
1.7	0,43	2.7	0,43	3.7	0,44	4.7	0,45	5.7	0,44	6.7	0,44
1.8	0,43	2.8	0,44	3.8	0,45	4.8	0,44	5.8	0,45	6.8	0,44
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,45	Média	0,44	Média	0,43

**Tabela 44 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 8,8 pcr Modificador 4.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	N	140	N	130	S	120	S	110	N	120	S	110	N
2	100	N	120	S	110	N	120	N	130	S	120	S	110	S	100	N
3	100	S	120	N	110	N	120	N	130	S	120	S	110	N	120	N
4	100	S	80	N	90	N	100	S	90	N	100	N	110	N	120	S
5	100	S	80	N	90	S	80	N	90	S	80	N	90	N	100	N
6	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	S	100	S	90	N

**Tabela 45 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 44.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,43	3.1	0,43	4.1	0,42	5.1	0,42	6.1	0,40
1.2	0,42	2.2	0,42	3.2	0,43	4.2	0,42	5.2	0,41	6.2	0,40
1.3	0,42	2.3	0,42	3.3	0,44	4.3	0,42	5.3	0,41	6.3	0,40
1.4	0,41	2.4	0,42	3.4	0,42	4.4	0,43	5.4	0,41	6.4	0,38
1.5	0,41	2.5	0,42	3.5	0,42	4.5	0,42	5.5	0,41	6.5	0,40
1.6	0,41	2.6	0,41	3.6	0,41	4.6	0,42	5.6	0,41	6.6	0,40
1.7	0,41	2.7	0,42	3.7	0,43	4.7	0,43	5.7	0,41	6.7	0,39
1.8	0,41	2.8	0,41	3.8	0,43	4.8	0,42	5.8	0,41	6.8	0,40
Média	0,42	Média	0,42	Média	0,43	Média	0,42	Média	0,41	Média	0,40

*Tabela 46 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 8,8 pcr Modificador 4.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	N	N	60	S	50	S
2	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	S	S	40	N	50	N
3	80	S	60	N	70	N	80	S	70	S	S	S	50	N	60	N
4	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	N	N	60	S	50	N
5	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	N	N	80	S	70	S
6	80	S	60	N	70	S	60	N	50	N	S	S	50	N	60	N

*Tabela 47 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 46.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,42	3.1	0,44	4.1	0,43	5.1	0,41	6.1	0,40
1.2	0,43	2.2	0,43	3.2	0,44	4.2	0,42	5.2	0,42	6.2	0,41
1.3	0,43	2.3	0,42	3.3	0,43	4.3	0,43	5.3	0,42	6.3	0,40
1.4	0,43	2.4	0,42	3.4	0,43	4.4	0,43	5.4	0,41	6.4	0,40
1.5	0,42	2.5	0,41	3.5	0,43	4.5	0,42	5.5	0,41	6.5	0,40
1.6	0,42	2.6	0,43	3.6	0,43	4.6	0,42	5.6	0,41	6.6	0,39
1.7	0,42	2.7	0,43	3.7	0,44	4.7	0,42	5.7	0,41	6.7	0,39
1.8	0,41	2.8	0,42	3.8	0,44	4.8	0,42	5.8	0,41	6.8	0,40
Média	0,42	Média	0,42	Média	0,44	Média	0,42	Média	0,41	Média	0,40



– Com o Modificador 5

*Tabela 48 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 5,3 pcr Modificador 5.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S	80	N	90	N
2	90	N	110	S	100	S	90	S	80	N	90	N	100	S	90	N
3	90	N	110	S	100	S	90	S	80	N	90	N	100	S	90	N
4	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	N	100	N	110	S
5	90	S	70	N	80	N	90	S	80	N	90	N	100	N	110	S
6	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S	80	N	90	S

*Tabela 49 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 48.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,43	3.1	0,44	4.1	0,43	5.1	0,45	6.1	0,43
1.2	0,42	2.2	0,43	3.2	0,44	4.2	0,42	5.2	0,44	6.2	0,43
1.3	0,43	2.3	0,43	3.3	0,44	4.3	0,42	5.3	0,44	6.3	0,43
1.4	0,43	2.4	0,43	3.4	0,43	4.4	0,43	5.4	0,44	6.4	0,41
1.5	0,42	2.5	0,43	3.5	0,43	4.5	0,44	5.5	0,42	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,43	3.6	0,44	4.6	0,44	5.6	0,43	6.6	0,41
1.7	0,42	2.7	0,44	3.7	0,43	4.7	0,44	5.7	0,42	6.7	0,42
1.8	0,42	2.8	0,43	3.8	0,44	4.8	0,44	5.8	0,43	6.8	0,42
Média	0,42	Média	0,43	Média	0,44	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,42

*Tabela 50 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 8,8 pcr Modificador 5.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	S	110	S	100	N
2	100	S	80	N	90	N	100	N	110	N	120	S	110	N	120	S
3	100	S	80	N	90	N	100	N	110	N	120	N	130	S	120	S
4	100	N	120	N	140	S	130	S	120	N	130	S	120	S	110	N
5	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	S	110	S	100	S
6	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	N	120	S	110	S

*Tabela 51 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 50.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,45	2.1	0,43	3.1	0,45	4.1	0,43	5.1	0,43	6.1	0,43
1.2	0,44	2.2	0,43	3.2	0,45	4.2	0,44	5.2	0,44	6.2	0,43
1.3	0,44	2.3	0,43	3.3	0,45	4.3	0,44	5.3	0,43	6.3	0,43
1.4	0,43	2.4	0,44	3.4	0,45	4.4	0,44	5.4	0,43	6.4	0,41
1.5	0,43	2.5	0,44	3.5	0,45	4.5	0,44	5.5	0,43	6.5	0,43
1.6	0,43	2.6	0,44	3.6	0,44	4.6	0,44	5.6	0,43	6.6	0,43
1.7	0,42	2.7	0,44	3.7	0,44	4.7	0,43	5.7	0,43	6.7	0,42
1.8	0,43	2.8	0,45	3.8	0,43	4.8	0,44	5.8	0,42	6.8	0,42
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,44	Média	0,43	Média	0,43

*Tabela 52 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 8,8 pcr Modificador 5.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	N	70	S
2	80	S	60	N	70	S	60	S	50	S	40	N	50	S	40	N
3	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	N	60	S	50	N
4	80	S	60	S	40	N	50	S	40	N	50	S	40	N	50	N
5	80	S	60	S	40	N	50	N	60	S	50	S	40	N	50	N
6	80	S	60	S	40	N	50	N	60	N	70	S	60	N	70	S

*Tabela 53 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 52.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,43	3.1	0,43	4.1	0,44	5.1	0,43	6.1	0,42
1.2	0,44	2.2	0,44	3.2	0,44	4.2	0,44	5.2	0,43	6.2	0,41
1.3	0,43	2.3	0,44	3.3	0,45	4.3	0,43	5.3	0,43	6.3	0,42
1.4	0,44	2.4	0,44	3.4	0,45	4.4	0,44	5.4	0,43	6.4	0,42
1.5	0,43	2.5	0,44	3.5	0,45	4.5	0,44	5.5	0,44	6.5	0,43
1.6	0,43	2.6	0,44	3.6	0,45	4.6	0,45	5.6	0,44	6.6	0,43
1.7	0,43	2.7	0,44	3.7	0,45	4.7	0,44	5.7	0,44	6.7	0,43
1.8	0,43	2.8	0,44	3.8	0,45	4.8	0,44	5.8	0,44	6.8	0,43
Média	0,43	Média	0,44	Média	0,45	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42

- Aumento da quantidade do Modificador 1: 8,0 pcr para Liso e 13,3 pcr para Impresso

*Tabela 54 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 8,0 pcr Modificador 1.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	N	80	N	90	N	100	S	90	S	80	N	90	S
2	90	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S
3	90	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N	100	S	90	N
4	90	N	110	S	100	N	110	N	120	S	110	N	120	S	110	N
5	90	N	110	S	100	S	90	N	100	S	90	S	100	S	90	N
6	90	N	110	S	100	S	90	N	100	S	90	N	100	S	90	N

*Tabela 55 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 54.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,39	2.1	0,42	3.1	0,41	4.1	0,42	5.1	0,38	6.1	0,38
1.2	0,39	2.2	0,41	3.2	0,41	4.2	0,41	5.2	0,4	6.2	0,39
1.3	0,40	2.3	0,42	3.3	0,39	4.3	0,40	5.3	0,4	6.3	0,40
1.4	0,41	2.4	0,42	3.4	0,40	4.4	0,40	5.4	0,39	6.4	0,39
1.5	0,40	2.5	0,40	3.5	0,41	4.5	0,41	5.5	0,37	6.5	0,38
1.6	0,40	2.6	0,40	3.6	0,40	4.6	0,40	5.6	0,37	6.6	0,37
1.7	0,40	2.7	0,41	3.7	0,40	4.7	0,40	5.7	0,38	6.7	0,37
1.8	0,39	2.8	0,41	3.8	0,39	4.8	0,41	5.8	0,38	6.8	0,39
Média	0,40	Média	0,41	Média	0,40	Média	0,41	Média	0,38	Média	0,38

**Tabela 56 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 13,3 pcr Modificador 1.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	N	120	S	110	N
2	100	N	120	S	110	N	120	N	130	S	120	N	130	S	120	N
3	100	N	120	N	140	N	160	S	150	S	140	S	130	N	140	S
4	100	N	120	N	140	N	160	S	150	S	140	N	150	N	140	S
5	100	N	120	N	140	S	130	S	120	N	130	S	120	N	130	S
6	100	N	120	N	140	S	130	S	120	S	110	N	120	S	110	N

**Tabela 57 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 56.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,40	2.1	0,42	3.1	0,43	4.1	0,43	5.1	0,40	6.1	0,41
1.2	0,41	2.2	0,43	3.2	0,44	4.2	0,43	5.2	0,40	6.2	0,40
1.3	0,41	2.3	0,44	3.3	0,44	4.3	0,43	5.3	0,41	6.3	0,40
1.4	0,42	2.4	0,44	3.4	0,43	4.4	0,44	5.4	0,41	6.4	0,41
1.5	0,41	2.5	0,42	3.5	0,42	4.5	0,43	5.5	0,41	6.5	0,42
1.6	0,41	2.6	0,43	3.6	0,43	4.6	0,43	5.6	0,41	6.6	0,40
1.7	0,42	2.7	0,43	3.7	0,43	4.7	0,42	5.7	0,40	6.7	0,39
1.8	0,41	2.8	0,42	3.8	0,42	4.8	0,43	5.8	0,41	6.8	0,39
Média	0,41	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,41	Média	0,40

**Tabela 58 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 13,3 pcr Modificador 1.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	N	70	N	80	S	70	N	80	S	70	N	80	S
2	80	N	100	S	90	N	100	S	90	N	100	S	90	S	80	S
3	80	N	100	S	90	N	100	N	110	S	100	S	90	S	80	N
4	80	N	100	S	90	N	100	S	90	N	100	N	110	S	100	S
5	80	N	100	S	90	S	80	N	90	N	100	S	90	S	80	S
6	80	N	100	S	90	S	80	N	90	S	80	N	90	S	80	S

**Tabela 59 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 58.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,42	2.1	0,44	3.1	0,44	4.1	0,44	5.1	0,42	6.1	0,41
1.2	0,42	2.2	0,44	3.2	0,44	4.2	0,44	5.2	0,4	6.2	0,41
1.3	0,43	2.3	0,44	3.3	0,44	4.3	0,44	5.3	0,42	6.3	0,41
1.4	0,42	2.4	0,44	3.4	0,44	4.4	0,44	5.4	0,42	6.4	0,42
1.5	0,43	2.5	0,44	3.5	0,43	4.5	0,45	5.5	0,41	6.5	0,42
1.6	0,42	2.6	0,45	3.6	0,43	4.6	0,43	5.6	0,42	6.6	0,42
1.7	0,42	2.7	0,44	3.7	0,43	4.7	0,43	5.7	0,42	6.7	0,41
1.8	0,42	2.8	0,44	3.8	0,43	4.8	0,44	5.8	0,42	6.8	0,42
Média	0,42	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42	Média	0,42

- Aumento da quantidade do Modificador 2: 8,0 pcr para Liso e 13,3 pcr para Impresso

*Tabela 60 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 8,0 pcr Modificador 2.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	S	70	N	80	N	90	S	80	N	90	N	100	S	90	N
2	90	N	110	S	100	N	110	N	120	N	130	S	120	N	130	S
3	90	N	110	S	100	N	110	S	100	N	110	N	120	N	130	S
4	90	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	N	120	N	130	S
5	90	N	110	S	100	N	110	S	100	S	90	N	100	N	110	S
6	90	N	110	N	130	S	120	S	110	N	120	S	110	S	100	S

*Tabela 61 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 60.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,46	3.1	0,45	4.1	0,45	5.1	0,41	6.1	0,42
1.2	0,44	2.2	0,46	3.2	0,45	4.2	0,44	5.2	0,40	6.2	0,42
1.3	0,44	2.3	0,46	3.3	0,45	4.3	0,45	5.3	0,40	6.3	0,42
1.4	0,45	2.4	0,47	3.4	0,46	4.4	0,45	5.4	0,42	6.4	0,41
1.5	0,45	2.5	0,46	3.5	0,45	4.5	0,44	5.5	0,41	6.5	0,42
1.6	0,45	2.6	0,46	3.6	0,46	4.6	0,45	5.6	0,40	6.6	0,42
1.7	0,45	2.7	0,46	3.7	0,46	4.7	0,45	5.7	0,41	6.7	0,41
1.8	0,45	2.8	0,46	3.8	0,46	4.8	0,45	5.8	0,41	6.8	0,41
Média	0,45	Média	0,46	Média	0,46	Média	0,45	Média	0,41	Média	0,42

**Tabela 62 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 13,3 pcr Modificador 2.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	N	140	S	130	N	140	S	130	S	120	N	130	S
2	100	N	120	S	130	S	120	N	130	N	140	S	130	N	140	S
3	100	N	120	N	140	S	130	S	120	N	130	S	120	N	130	N
4	100	N	120	N	140	S	130	N	140	S	130	S	120	N	130	N
5	100	N	120	S	110	S	100	N	110	S	100	N	110	S	100	N
6	100	N	120	S	110	N	120	S	110	S	100	N	110	S	100	N

**Tabela 63 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 62.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,45	2.1	0,45	3.1	0,45	4.1	0,45	5.1	0,42	6.1	0,42
1.2	0,45	2.2	0,45	3.2	0,45	4.2	0,46	5.2	0,42	6.2	0,41
1.3	0,45	2.3	0,46	3.3	0,46	4.3	0,45	5.3	0,42	6.3	0,41
1.4	0,44	2.4	0,46	3.4	0,46	4.4	0,46	5.4	0,42	6.4	0,41
1.5	0,44	2.5	0,45	3.5	0,45	4.5	0,45	5.5	0,42	6.5	0,43
1.6	0,45	2.6	0,46	3.6	0,45	4.6	0,45	5.6	0,41	6.6	0,43
1.7	0,44	2.7	0,46	3.7	0,46	4.7	0,45	5.7	0,42	6.7	0,42
1.8	0,45	2.8	0,46	3.8	0,46	4.8	0,45	5.8	0,41	6.8	0,43
Média	0,45	Média	0,46	Média	0,46	Média	0,45	Média	0,42	Média	0,42



*Tabela 64 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 13,3 pcr Modificador 2.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	N	70	N	80	S	70	N	80	N	90	S	80	N
2	80	S	60	N	70	N	80	N	90	S	80	N	90	S	80	N
3	80	N	100	S	90	S	80	N	70	N	80	N	70	N	80	S
4	80	S	60	N	70	N	80	S	70	S	60	N	70	N	80	N
5	80	S	60	N	70	N	80	S	70	S	60	N	70	S	60	N
6	80	S	60	N	70	S	60	N	70	S	60	N	70	N	80	S

*Tabela 65 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 64.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,45	2.1	0,46	3.1	0,46	4.1	0,46	5.1	0,43	6.1	0,43
1.2	0,44	2.2	0,46	3.2	0,46	4.2	0,46	5.2	0,43	6.2	0,42
1.3	0,46	2.3	0,46	3.3	0,46	4.3	0,46	5.3	0,43	6.3	0,40
1.4	0,44	2.4	0,47	3.4	0,47	4.4	0,46	5.4	0,43	6.4	0,43
1.5	0,46	2.5	0,47	3.5	0,47	4.5	0,46	5.5	0,44	6.5	0,43
1.6	0,45	2.6	0,46	3.6	0,47	4.6	0,46	5.6	0,43	6.6	0,43
1.7	0,46	2.7	0,47	3.7	0,46	4.7	0,46	5.7	0,43	6.7	0,44
1.8	0,46	2.8	0,47	3.8	0,46	4.8	0,46	5.8	0,43	6.8	0,42
Média	0,45	Média	0,47	Média	0,46	Média	0,46	Média	0,43	Média	0,43

- Aumento da quantidade do Modificador 5: 8,0 pcr para Liso e 13,3 pcr para Impresso

*Tabela 66 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Liso 8,0 pcr Modificador 5.*

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	90	N	110	N	130	S	120	S	110	N	120	S	110	N	120	S
2	90	N	110	N	130	S	120	S	110	S	100	S	90	N	100	N
3	90	N	110	S	100	N	110	N	120	N	130	S	120	S	110	S
4	90	N	110	S	100	N	110	S	100	N	110	N	120	S	110	S
5	90	N	110	S	100	N	110	N	120	S	110	S	100	N	110	S
6	90	S	70	N	80	S	70	N	80	N	90	S	80	N	90	S

*Tabela 67 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 66.*

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,43	2.1	0,44	3.1	0,43	4.1	0,42	5.1	0,41	6.1	0,41
1.2	0,43	2.2	0,44	3.2	0,43	4.2	0,43	5.2	0,41	6.2	0,41
1.3	0,44	2.3	0,44	3.3	0,43	4.3	0,44	5.3	0,41	6.3	0,41
1.4	0,45	2.4	0,44	3.4	0,43	4.4	0,44	5.4	0,41	6.4	0,42
1.5	0,44	2.5	0,44	3.5	0,44	4.5	0,44	5.5	0,41	6.5	0,40
1.6	0,43	2.6	0,44	3.6	0,43	4.6	0,43	5.6	0,41	6.6	0,41
1.7	0,45	2.7	0,45	3.7	0,43	4.7	0,43	5.7	0,40	6.7	0,40
1.8	0,45	2.8	0,45	3.8	0,43	4.8	0,44	5.8	0,40	6.8	0,41
Média	0,44	Média	0,44	Média	0,43	Média	0,43	Média	0,41	Média	0,41

**Tabela 68 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Base 13,3 pcr Modificador 5.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	100	N	120	S	110	N	120	S	110	N	120	S	110	S	100	S
2	100	N	120	N	140	S	130	S	120	N	130	S	120	N	130	S
3	100	N	120	N	140	N	160	S	150	S	140	S	120	S	110	N
4	100	N	120	S	110	N	120	N	130	S	120	S	110	S	100	N
5	100	N	120	S	110	S	100	N	110	S	100	N	110	N	120	N
6	100	N	120	S	110	S	100	N	110	N	120	S	110	S	100	N

**Tabela 69 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 68.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,44	2.1	0,45	3.1	0,44	4.1	0,44	5.1	0,42	6.1	0,42
1.2	0,45	2.2	0,46	3.2	0,44	4.2	0,44	5.2	0,41	6.2	0,41
1.3	0,45	2.3	0,45	3.3	0,45	4.3	0,44	5.3	0,41	6.3	0,42
1.4	0,45	2.4	0,46	3.4	0,45	4.4	0,45	5.4	0,42	6.4	0,42
1.5	0,45	2.5	0,45	3.5	0,44	4.5	0,44	5.5	0,42	6.5	0,42
1.6	0,45	2.6	0,46	3.6	0,44	4.6	0,45	5.6	0,41	6.6	0,43
1.7	0,44	2.7	0,46	3.7	0,44	4.7	0,44	5.7	0,42	6.7	0,41
1.8	0,45	2.8	0,45	3.8	0,43	4.8	0,43	5.8	0,41	6.8	0,40
Média	0,45	Média	0,46	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42	Média	0,42

**Tabela 70 - Registo dos valores das alturas, de acordo com o procedimento descrito para as amostras Impresso 13,3 pcr Modificador 5.**

Zona	Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4		Provete 5		Provete 6		Provete 7		Provete 8	
	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)	Altura (cm)	Partido (S/N)
1	80	S	60	N	70	S	60	N	70	N	80	S	70	N	80	S
2	80	S	60	N	70	N	80	S	70	N	80	N	90	S	80	N
3	80	S	60	N	70	N	80	S	70	S	60	N	70	S	60	N
4	80	N	100	S	90	S	80	N	90	S	80	N	90	S	80	S
5	80	S	60	N	70	S	60	N	70	S	60	N	70	N	80	N
6	80	S	60	N	70	S	60	N	70	S	60	N	70	N	80	S

**Tabela 71 - Registo do valor da espessura dos provetes da Tabela 70.**

Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)	Zona	Espessura (mm)
1.1	0,44	2.1	0,46	3.1	0,45	4.1	0,45	5.1	0,42	6.1	0,43
1.2	0,44	2.2	0,46	3.2	0,44	4.2	0,44	5.2	0,42	6.2	0,41
1.3	0,44	2.3	0,46	3.3	0,44	4.3	0,44	5.3	0,43	6.3	0,41
4.3	0,45	2.4	0,46	3.4	0,44	4.4	0,45	5.4	0,43	6.4	0,42
1.5	0,44	2.5	0,46	3.5	0,45	4.5	0,45	5.5	0,41	6.5	0,40
1.6	0,45	2.6	0,46	3.6	0,44	4.6	0,44	5.6	0,42	6.6	0,42
1.7	0,45	2.7	0,46	3.7	0,45	4.7	0,45	5.7	0,41	6.7	0,43
1.8	0,46	2.8	0,46	3.8	0,44	4.8	0,43	5.8	0,41	6.8	0,42
Média	0,45	Média	0,46	Média	0,44	Média	0,44	Média	0,42	Média	0,42

## Anexo 6 - Ensaios de Validação dos Produtos

### – Confirmação da Cor

Na Tabela 72 é possível observar os resultados do ensaio da confirmação de cor, nomeadamente os valores de  $\Delta E$ , que são inferiores a 0,5 (critério de aceitação definido pela empresa), e os valores do desvio padrão que é uma medida que indica a dispersão dos valores de  $\Delta E$  medidos em torno dos valores de  $\Delta E$  médio, em cada amostra. Quanto menor for o valor do desvio padrão, os valores medidos tendem a estar mais próximos do valor de  $\Delta E$  médio. Face a estes resultados, conclui-se que há uma boa dispersão dos pigmentos ao longo das amostras com os respetivos modificadores de impacto.

*Tabela 72 - Valores gerados pelo espectrofotómetro para a confirmação da cor.*

Amostras	$\Delta E$ médio	Desvio Padrão
LC	0,09	0,03
Liso com 8,0 pcr de Modificador 1	0,03	0,03
Liso com 8,0 pcr de Modificador 2	0,09	0,05
Liso com 8,0 pcr de Modificador 5	0,06	0,05
IC (Base)	0,12	0,04
Base com 13,3 pcr de Modificador 1	0,05	0,03
Base com 13,3 pcr de Modificador 2	0,10	0,03
Base com 13,3 pcr de Modificador 5	0,09	0,05

### – Brilho

Está definido internamente um critério de aceitação que consiste em valores do brilho entre 5 a 20 para orlas ProClassic de PVC (lisos e bases) e como se observa pelos valores da Tabela 73 e 74, todos os produtos apresentam valores dentro deste intervalo de especificação.

**Tabela 73 - Registos dos valores de dureza medidos no durómetro das amostras (Liso).**

	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
LC	0	1	1	5,8	5,9	5,4	5,1	5,5	5,6	5,2	5,8	6
		2	2	5,1	5,0	5,0	4,9	5,3	4,9	5,0	5,0	
		3	3	5,1	5,0	5,1	5,0	4,9	4,8	5,0	5,2	
	1	1	1	5,4	5,5	5,2	5,2	5,3	5,1	5,4	5,5	
		2	2	5,5	5,9	5,4	5,7	5,7	5,6	6,2	6,6	
		3	3	4,9	5,4	5,4	5,1	5,3	5,3	5,3	5,6	
	2	1	1	5,2	5,2	5,1	5,1	5,3	5,3	5,4	5,1	
		2	2	5,7	5,9	5,9	5,4	5,9	5,6	5,9	5,8	
		3	3	7,4	9,3	9,9	7,6	8,3	7,7	7,7	7,9	
Liso com 8,0 pcr Mod.1	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	7,7	8,0	7,6	7,6	7,7	7,3	7,9	7,7	7,7	6
		2	6,2	6,1	6,3	6,2	6,3	6,2	6,1	6,0	6,2	
		3	5,9	5,8	6	6	5,9	5,7	6,0	5,9	5,9	
	1	1	6,0	6,0	5,7	5,9	5,7	5,9	6,2	5,7	5,9	
		2	7,7	8,0	7,8	7,9	7,8	7,4	7,6	7,8	7,8	
		3	5,8	5,4	5,6	5,7	5,8	5,4	5,5	5,7	5,6	
	2	1	5,6	5,8	6	5,8	6	5,6	6,1	5,6	5,8	
		2	5,7	5,9	6,0	6,1	5,8	6,0	6,1	6,0	6,0	
		3	6,8	7	7,9	8,1	7,6	7,6	7,3	6,9	7,4	
Liso com 8,0 pcr Mod. 2	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	6,1	6,0	6,4	6,4	6,7	6,6	5,9	5,8	6,2	7
		2	5,9	5,9	5,7	5,8	5,8	6,0	5,8	5,8	5,8	
		3	6,1	5,7	5,6	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	5,7	
	1	1	5,7	5,6	6,0	5,9	6,2	5,7	5,6	5,7	5,8	
		2	6,1	6,2	6,1	6,3	6	6,1	6,4	6,5	6,2	
		3	6,4	6,2	6,4	6,5	6,5	6,2	6,6	6,7	6,4	
	2	1	7,6	7,4	8,1	7,7	7,8	7,5	8,2	8,0	7,8	
		2	7,2	8,1	7,8	7,7	7,1	7,2	7,3	6,6	7,4	
		3	8,0	8,7	8,5	9,1	7,0	9,1	8,5	7,6	8,3	
Liso com 8,0 pcr Mod. 5	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	7,8	7,2	7,1	7,2	7,5	7,7	7,6	7,4	7,4	8
		2	6,8	6,7	6,5	6,6	6,4	6,5	6,6	6,6	6,6	
		3	6,4	6,5	6,4	6,6	6,4	6,5	6,4	6,4	6,5	
	1	1	7,1	6,9	6,9	7,2	6,8	7,0	7,4	7,1	7,1	
		2	8,5	8,2	8,0	8,2	8,1	8,3	8,6	8,3	8,3	
		3	8,1	8,1	8,2	7,6	7,9	7,9	7,8	8,2	8,0	
	2	1	9,6	9,9	9,1	9,3	9,3	9,5	9,5	9,5	9,5	
		2	9,2	8,6	9,3	9,6	9,4	8,9	9,3	8,6	9,1	
		3	8,9	9,8	10,0	10,0	10,4	10,7	9,9	9,5	9,9	

**Tabela 74 - Registo dos valores de brilho medidos nas amostras das respetivas formulações de impresso.**

	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
IC	0	1	6,9	6,8	7,0	6,6	6,5	6,5	6,4	6,9	6,7	7
		2	5,8	6,1	6,2	6,3	5,7	5,9	5,8	6,0	6,0	
		3	6,9	6,8	6,6	6,4	6,4	6,6	6,2	6,9	6,6	
	1	1	7,1	7,1	7,0	6,9	6,9	7,4	7,8	7,7	7,2	
		2	7,5	7,5	7,4	7,5	7,4	7,9	7,1	7,1	7,4	
		3	6,9	7,6	7,7	7,9	7,5	7,4	7,5	7,6	7,5	
	2	1	7,5	7,0	7,2	7,3	7,6	7,4	7,1	7,5	7,3	
		2	8,0	8,1	7,8	7,3	7,5	7,6	7,3	7,5	7,6	
		3	8,1	8,4	7,8	8,2	9,1	7,8	8,2	8,6	8,3	
Base com 13,3 pcr Mod. 1	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	10,1	9,9	10,3	9,1	8,7	8,8	9,2	9,8	9,5	7
		2	6,6	6,6	6,7	6,6	6,7	6,8	6,6	6,9	6,7	
		3	6,0	6,1	6,1	5,9	6,1	6,2	6,2	6,0	6,1	
	1	1	6,1	6,0	5,9	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0	
		2	6,7	6,4	6,4	6,5	6,9	7,0	6,7	6,6	6,7	
		3	5,7	5,7	5,6	5,6	5,8	5,7	5,8	5,5	5,7	
	2	1	5,7	5,7	5,8	5,9	6,1	5,8	6,0	6,0	5,9	
		2	5,8	5,7	6,2	5,9	5,9	5,7	5,6	6,0	5,9	
		3	6,9	6,7	7,5	7,1	7,3	7,4	7,2	6,7	7,1	
Base com 13,3 pcr Mod. 2	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	6,1	5,6	5,8	5,7	6,0	6,1	6,6	6,4	6,0	7
		2	5,8	5,6	5,5	5,6	5,8	5,4	5,8	5,7	5,7	
		3	5,5	5,2	5,3	5,4	5,3	5,3	5,3	5,2	5,3	
	1	1	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7	5,6	
		2	6,5	6,5	6,2	6,0	6,3	5,8	6,4	6,0	6,2	
		3	6,1	6,1	5,7	5,9	5,9	6,0	5,9	5,8	5,9	
	2	1	7,2	7,3	7,5	7,9	7,6	7,1	7,0	7,5	7,4	
		2	7,6	7,1	7,6	8,1	8,1	7,5	7,7	7,4	7,6	
		3	7,7	8,6	8,8	9,1	9,1	10,0	7,8	9,9	8,9	
Base com 13,3 pcr Mod. 5	Lado	Zona de leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Média da Amostra
	0	1	6,7	6,7	6,9	7,4	6,7	6,9	6,9	7,0	6,9	7
		2	5,9	5,8	5,7	6,0	5,9	5,7	5,9	5,7	5,8	
		3	5,9	5,9	5,9	5,7	5,6	5,9	5,8	5,6	5,8	
	1	1	6,2	6,4	6,1	6,3	6,1	6,2	6,2	6,4	6,2	
		2	7,3	7,2	7,2	7,2	7,4	7,3	7,6	7,3	7,3	
		3	6,8	7,1	6,7	6,8	7,0	7,2	6,9	6,6	6,9	
	2	1	8,2	8,0	8,5	8,2	8,3	8,0	7,8	8,0	8,1	
		2	7,0	8,1	8,4	7,9	7,6	7,1	7,3	6,9	7,5	
		3	8,2	9,4	9,7	8,7	9,5	9,7	8,7	8,6	9,1	

## – Ensaio de Dureza

Na tabela seguinte encontram-se registados os valores de dureza medidos no durómetro das amostras em estudo e conclui-se que a alteração do modificador não provoca alterações significativas no valor da dureza.

A dureza está relacionada com as propriedades mecânicas de um material nomeadamente a resistência à tração, a rigidez e o comportamento viscoelástico (4). Para a conformidade do produto este valor deve ser de cerca de  $70 \pm 2$  Shore D. Pelos valores que se observam na Tabela 75 esta especificação é cumprida.

*Tabela 75 - Registos dos valores de dureza medidos no durómetro as amostras resultantes das respetivas formulações.*

Amostras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de cada lado	Média da Amostra
LC	LADO 0	71,0	71,5	71,0	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,0	71,0	71,3	71
	LADO 1	71,5	71,5	71,5	71,0	71,0	71,5	71,0	71,5	71,0	71,5	71,3	
	LADO 2	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	72,0	71,5	71,6	
Liso com 8,0 pcr Mod. 1	LADO 0	70,0	70,0	70,0	70,0	69,5	70,0	69,0	69,5	69,5	69,5	69,7	70
	LADO 1	69,5	69,5	70,0	70,0	69,0	69,0	69,5	69,5	70,0	69,5	69,6	
	LADO 2	69,5	69,5	69,5	70,0	69,5	69,0	69,0	69,5	69,0	69,0	69,4	
Liso com 8,0 pcr Mod. 2	LADO 0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,5	70,0	70,0	70,0	70,1	70
	LADO 1	69,5	69,5	69,5	70,0	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,0	69,5	
	LADO 2	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	69,5	70,0	69,5	70,0	70,0	69,9	
Liso com 8,0 pcr Mod. 5	LADO 0	70,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,1	70
	LADO 1	69,5	69,5	69,0	69,5	69,0	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,4	
	LADO 2	69,5	69,5	69,5	69,0	69,5	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	69,7	
IC	LADO 0	70,0	70,5	70,0	71,0	70,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,2	70
	LADO 1	70,0	70,0	70,0	69,5	70,0	70,5	69,5	69,5	70,0	70,0	69,9	
	LADO 2	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	69,5	69,0	70,0	69,5	70,0	69,8	
Base com 13,3 pcr Mod. 1	LADO 0	69,0	69,0	68,5	68,5	68,5	69,0	69,0	69,0	69,0	68,5	68,8	69
	LADO 1	68,5	68,5	68,5	68,5	68,0	68,5	68,5	68,5	68,5	68,5	68,5	
	LADO 2	69,0	68,5	69,0	68,5	68,5	68,5	68,5	68,5	69,0	68,5	68,7	
Base com 13,3 pcr Mod. 2	LADO 0	68,0	68,0	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0	68,5	68,8	69
	LADO 1	69,0	68,5	69,0	69,0	69,0	68,5	68,5	68,5	69,0	68,5	68,8	
	LADO 2	67,5	67,5	68,0	68,5	68,0	68,0	68,5	68,0	69,0	69,0	68,2	
Base com 13,3 pcr Mod. 5	LADO 0	69,0	69,0	68,5	69,0	69,0	68,5	69,0	69,0	69,0	69,0	68,9	69
	LADO 1	68,5	69,0	68,5	69,0	68,5	69,0	69,0	68,5	69,0	69,0	68,8	
	LADO 2	69,0	69,5	69,0	68,5	69,0	69,0	69,5	69,0	68,5	68,5	69,0	

## – Resistência à Abrasão

Este ensaio foi realizado no material impresso, onde se verificou que para todas as formulações em teste as amostras resistiram aos 150 ciclos sem se verificar desgaste da camada de tinta estando por isso em conformidade.



### – Teste da Solidez da Cor à Luz UV

A análise das amostras que foram expostas à luz UV é feita comparando-as com as amostras padrão (que não foram expostas a esta radiação). Esta análise é feita usando a escala dos cinzentos, isto é, ao comparar as amostras avalia-se o contraste entre estas de acordo com a figura seguinte. Esta escala vai de 1 a 5, intercalada de meia unidade, em que o valor 5 diz respeito a nenhum contraste e o valor 1 reflete um contraste total/máximo.

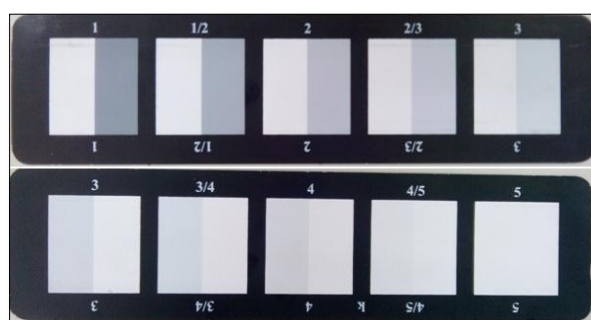


Figura 28 - Escala dos Cinzentos.

Na Tabela 76 encontram-se os resultados deste ensaio e verificou-se que todas as amostras se encontravam conformes, com praticamente nenhum contraste.

*Tabela 76 - Resultados dos ensaios de Resistência aos UV's.*

Amostras	Resultado Resistência aos UV's
LC	4/5
Liso com 8,0 pcr Modificador 1	4/5
Liso com 8,0 pcr Modificador 2	4/5
Liso com 8,0 pcr Modificador 5	4/5
IC (Base)	4/5
Base com 13,3 pcr Modificador 1	4/5
Base com 13,3 pcr Modificador 2	4/5
Base com 13,3 pcr Modificador 5	4/5

– **Pinking a 50 °C e a 70 °C**

Para a análise resultados deste ensaio, compara-se as amostras provenientes das estufas com as amostras padrão que se guardaram sem exposição à luz e à temperatura ambiente. Esta análise é feita de acordo com a classificação da Tabela 77.

*Tabela 77 - Tabela para classificação das amostras para o ensaio Pinking.*

<b>Grau 5 Nenhuma Alteração</b>	Não é possível detectar uma diferença entre a área de teste e a área adjacente.
<b>Grau 4 Alguma Alteração</b>	A área de teste só pode ser diferenciada da área adjacente se a fonte de luz for refletida da área de teste de volta ao olho do inspetor (isto é, descoloração, alterações no brilho ou na cor). Não se verifica alteração na estrutura da superfície (isto é inchaços, aumento de fibras, rachaduras ou bolhas).
<b>Grau 3 Alteração Moderada</b>	A área de teste pode ser diferenciada da área adjacente, visível de várias perspectivas (isto é, descoloração, alterações no brilho ou na cor). Não se verifica alteração na estrutura da superfície, superfície (isto é inchaços, aumento de fibras, rachaduras ou bolhas).
<b>Grau 2 Alteração Significativa</b>	A área de teste pode ser claramente diferenciada da área adjacente, visível de todas as perspectivas (isto é, descoloração, alterações no brilho ou na cor). Verifica-se descoloração, alterações no brilho ou cor, e / ou a estrutura da superfície modificou-se ligeiramente (existência de inchaços, aumento de fibras, rachaduras ou bolhas).
<b>Grau 1 Alteração Forte</b>	A estrutura da superfície mudou claramente e / ou a descoloração, mudanças no brilho ou na cor e / ou o material de superfície se soltou parcialmente ou completamente e / ou o papel de filtro permanece aderente à superfície.

Na Tabela 78 encontram-se os resultados deste ensaio e como se confirma estão em conformidade.

**Tabela 78 - Resultados dos ensaios de Resistência aos UV's e Pinking a 50 °C e a 70 °C.**

<b>Amostras</b>	<b>Resultado <i>Pinking</i> T=50 °C, 28 dias</b>	<b>Resultado <i>Pinking</i> T=70 °C, 7 dias</b>
LC	Grau 5	Grau 5
Liso com 8,0 pcr Modificador 1	Grau 5	Grau 5
Liso com 8,0 pcr Modificador 2	Grau 5	Grau 5
Liso com 8,0 pcr Modificador 5	Grau 5	Grau 5
IC	Grau 5	Grau 5
Base com 13,3 pcr Modificador 1	Grau 5	Grau 5
Base com 13,3 pcr Modificador 2	Grau 5	Grau 5
Base com 13,3 pcr Modificador 5	Grau 5	Grau 5

## – Ensaio de Rasgamento

Na figura seguinte encontram-se as imagens referentes às amostras que foram sujeitas ao ensaio de rasgamento no material com a designação de liso, base e impresso. Este ensaio é uma maneira de prever se o material terá uma boa resistência ao impacto e se houve uma distribuição uniforme de todos os componentes.

Pelo que se observa com o aumento da quantidade de modificador de impacto houve uma melhoria significativa relativamente ao rasgamento linear.

Observa-se ainda que nos lados laterais, nomeadamente nas pontas laterais, o material tem mais tendência a rasgar em *zig-zag*. Isto é o reflexo do que já se verificou anteriormente, nomeadamente no que diz respeito às laterais do material serem mais débeis nas suas características físicas e mecânicas. Este fenómeno é mais notório com o Modificador 1, pois com o 2 e o 5 o material rasga de forma linear em praticamente toda a sua largura, pelo que o material com estes modificadores na sua constituição apresenta melhor desempenho quando sujeito a este ensaio.



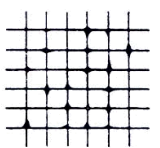
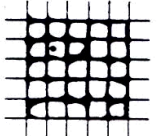
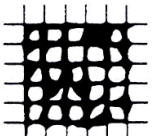
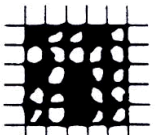
**Figura 29 - Imagens referentes às amostras após o ensaio de rasgamento.**

## – Teste do Cross

Este ensaio foi realizado no material depois de impresso à temperatura ambiente, depois de exposto durante 7 dias a uma temperatura de 70 °C e depois de exposto a uma temperatura de 50 °C durante 28 dias. O critério de classificação da conformidade das amostras pode ser consultado na Tabela 79.

Verificou-se para todas as amostras estão conformes, isto é, que os bordos dos cortes se apresentam completamente lisos, sem nenhum pedaço de tinta retirado. Conclui-se que a alteração de modificador de impacto, bem como da sua quantidade, não compromete a adesão das tintas à orla.

*Tabela 79 - Tabela de classificação dos Resultados do Teste do Cross.*

Classificação	Descrição	Aparência da superfície do ensaio
0	Os bordos dos cortes apresentam-se completamente lisos, nenhum pedaço dos quadrados se encontra retirado.	-
1	Pequenos pedaços de tinta foram retirados nas intersecções dos cortes. A área afectada é cerca de 5 %.	
2	A tinta saiu ao longo e na intersecção dos cortes. A área afectada é > 5 % e < 15 %.	
3	A tinta saiu ao longo dos cortes em pedaços relativamente grandes. A área afectada é > 15% e < 35 %.	
4	A tinta saiu ao longo dos cortes em grandes pedaços. A área afectada é > 35 % e < 65 %	
5	Todo o material em que a quantidade de tinta destacada é > à classificação 4.	-